

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

Diseño de automatización del laboratorio de acuicultura  
del IMARPE mediante un SCADA

Trabajo de fin de carrera para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico, que  
presenta el bachiller:

**Edwin William Trejo Ponte**

ASESOR: Franco Hidalgo Herencia

Lima, Marzo 2014

# Resumen

En la actualidad, el laboratorio de acuicultura del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) cuenta con 5 salas dedicadas a distintos organismos marinos para su investigación. Estos ambientes son: sala de microalgas, sala de alimentos vivos, sala de larvicultura, sala de moluscos y sala de reproductores. En estos espacios, se desarrollan diversos estudios como el comportamiento de los peces, la aceleración en su crecimiento y el mejorar el proceso reproductivo. Además, todos son operados de forma manual por los trabajadores de la institución y muchas veces demandan de equipos portátiles para cumplir su labor.

El objetivo de este trabajo es diseñar la automatización del laboratorio mediante un sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) que brinde la opción de controlar y monitorear diversos parámetros remotamente. La temperatura, el flujo de oxigenación, el caudal del agua de mar, radiación UV e iluminación son las medidas más esenciales. Por ello, se emplean PLC's para las señales de control con sus respectivos módulos de expansión de entradas y salidas, ya sean analógicas, digitales o del tipo relé. Asimismo, se cuentan con sensores, actuadores y transmisores de acuerdo a los requerimientos de cada sala. Al mismo tiempo, se emplean micro-controladores Arduino para un sistema de fotoperiodo, cuyo fin es simular la iluminación que reciben las especies para poder regular sus funciones biológicas.

El desarrollo del presente informe está compuesto por 5 capítulos. En primer lugar, se explica la problemática y se plantea una solución a través del uso de un sistema mecatrónico integrado en un SCADA. En el segundo capítulo, se detallan los requerimientos que conllevan a la presentación del concepto de solución. Luego, se especifican los diagramas de funcionamiento, planos P&ID, arquitectura de comunicaciones, diagramas de flujos del control entre SCADA-PLC-Arduino y otros esquemas que ayudan a comprender mejor lo propuesto. En el capítulo cuatro, se brinda la información de los costos de los diversos componentes utilizados dando así el presupuesto total para implementar este proyecto. Finalmente, se dan a conocer las conclusiones que integran el propósito de este trabajo.

# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Capítulo 1.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Capítulo 2.....</b>  | <b>6</b>  |
| 2.1.    Requerimientos del sistema mecatrónico: .....   | 6         |
| 2.2.    Concepto de solución: .....   | 7         |
| <b>Capítulo 3.....</b>  | <b>11</b> |
| 3.1.    Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....                                       | 11        |
| 3.2.    Sensores, transmisores y actuadores.....  | 12        |
| 3.2.1.    Sensores .....  | 12        |
| 3.2.1.1.    Sensores de flujo.....  | 12        |
| 3.2.1.2.    Sensor de temperatura .....   | 13        |
| 3.2.1.3.    Sensor de nivel .....   | 14        |
| 3.2.2.    Actuadores.....   | 14        |
| 3.2.2.1.    Válvulas solenoides para agua.....  | 14        |
| 3.2.2.2.    Válvulas solenoides para aire y gases .....   | 16        |
| 3.2.2.3.    Válvulas proporcionales.....  | 16        |
| 3.3.    Controladores y periféricos .....   | 17        |
| 3.3.1.    PLC´s.....  | 17        |
| 3.3.2.    Arduinos.....   | 18        |
| 3.3.3.    HMI.....  | 18        |
| 3.3.4.    Controlador de temperatura.....   | 19        |
| 3.4.    Módulos de expansión .....  | 20        |
| 3.4.1.    Módulos analógicos .....  | 20        |
| 3.4.2.    Módulos digitales.....  | 21        |
| 3.4.2.1.    Tipo transistor.....  | 21        |
| 3.4.2.2.    Tipo relés.....   | 21        |
| 3.4.3.    Módulos de comunicación .....   | 22        |
| 3.4.3.1.    RS232 .....   | 22        |
| 3.4.3.2.    RS485 .....   | 22        |
| 3.5.    Planos del sistema mecatrónico.....   | 23        |
| 3.5.1.    Diagramas P&ID .....  | 23        |
| 3.5.2.    Soporte del sensor de nivel .....   | 26        |
| 3.6.    Diagramas esquemáticos y conexiones eléctricas de los circuitos del sistema mecatrónico ..... | 27        |
| 3.6.1.    Planos eléctricos.....  | 29        |
| 3.6.2.    Diagramas esquemáticos .....  | 33        |
| 3.6.2.1.    Iluminación para microalgas.....  | 33        |
| 3.6.2.2.    Iluminación con sistema fotoperiodo .....   | 34        |
| 3.6.3.    Diagrama de comunicaciones .....  | 35        |
| 3.7.    Diagrama de flujo del programa de control.....  | 36        |
| 3.8.    Interfaces gráficas del SCADA.....  | 41        |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>Capítulo 4</b> .....   | <b>45</b> |
| <b>Capítulo 5</b> .....   | <b>49</b> |
| <b>Bibliografía</b> ..... | <b>50</b> |



# Capítulo 1

## Presentación de la problemática:

Hoy en día, se realizan diversas investigaciones en el laboratorio de acuicultura del IMARPE (Instituto del Mar del Perú), el cual está constituido por 5 salas dedicadas a la crianza de distintas especies acuáticas. Dichas salas son el de microalgas, moluscos, alimentos vivos, larvicultura y reproductores. Este organismo contribuye con el desarrollo sustentable, la conservación de la biodiversidad marina, protección del medio ambiente y la pesca responsable [11]. Todo ello, se aplica al sector pesquero que es considerado como uno de los pilares de la economía nacional peruana. Sin embargo, a pesar de que cuentan con equipos para cumplir con estos estudios, no se tiene una automatización del proceso. En muchas ocasiones, aún miden ciertos parámetros con instrumentos portátiles. De ese modo, se complica cuando se quiere obtener un registro adecuado de las mediciones, precisión y tiempos que se pueden emplear en otras actividades [5].

Por ello, en este trabajo se propone el diseño de automatizar el laboratorio, lo cual permitirá monitorear o bien controlar variables como temperatura, flujos, nivel de pH, iluminación, entre otros. Lo mejor de todo es que no se necesita estar presente en el proceso, cualquier usuario puede visualizar las cuantificaciones si tiene los permisos indicados a través del SCADA [16].

## Capítulo 2

### Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

#### 2.1. Requerimientos del sistema mecatrónico:

Luego de lo expresado en el capítulo anterior, se concibe que el objetivo es tener el acceso remoto de las variables del laboratorio y registros ordenados directamente en una PC. Para ello se considera un SCADA [1]. Es importante acotar que estos requerimientos fueron consultados con las mismas personas que laboran en este lugar.

A continuación, se describen los requerimientos distribuidos por salas para un mejor entendimiento.

Generales:

- Interfaz de fácil uso para el usuario en HMI.
- Cumplir con grados de protección IP65 o IP67 según el estándar IEC 60529 para cableados y equipos. Ver Anexo 6.

a) Sala de microalgas:

- Control automático de CO<sub>2</sub> para 3 estantes de 4 niveles cada una.
- Control de flujo de CO<sub>2</sub>.
- Control de iluminación RGB (variación de colores).
- Alarma de nivel bajo de CO<sub>2</sub>.

b) Sala de alimentos vivos:

- Habilitar iluminación, 2 fluorescentes por cada tanque. Se posee 8 tanques en total.
- Control automático para el agua de mar
- Control automático del oxígeno.
- Capacidad para cambiar el flujo de oxigenación.
- Monitoreo de los flujos de oxigenación y agua.

c) Sala de larvicultura:

- Control de iluminación.
- Monitoreo de temperatura por cada tanque.
- Control automático para el agua de mar

- Control automático del oxígeno.
- Habilitar el tratamiento de purificador UV.
- El usuario tiene la opción de modificar el flujo de aire de 0 a 10 GPM.
- Control de temperatura del ciclo de recirculación del agua marina.
- Encendido remoto para las bombas de agua.

d) Sala de moluscos:

- Habilitar iluminación, 2 fluorescentes por cada tanque. Se posee 6 tanques en total.
- Ingreso de agua marina.
- Control automático del oxígeno.
- Capacidad para cambiar el flujo de oxigenación.
- Monitoreo de los flujos de oxigenación y agua.

e) Sala de reproductores:

- Incluir un control de iluminación RGB para fotoperiodo [7] [8].
- Control automático para el agua de mar
- Control automático del oxígeno.
- Control del tipo ON-OFF para las bombas de agua.
- Monitoreo de ph, salinidad, conductividad, DO (Oxígeno disuelto) y ORP (Reducción de oxidación) a través de un analizador de agua.
- Supervisión del comportamiento de los peces dentro de los tanques.
- Control de temperatura del ciclo de recirculación del agua marina.

## 2.2. Concepto de solución:

Para empezar, todas las salas son simétricas, es decir, lo que se ve en las figuras desde el 2.1 al 2.4 se repiten tanto en el lado izquierdo como en el lado derecho. Puede ver el Anexo 11 para mayor detalle de las vistas y el layout de cada sala.

En la fig. 2.1 e presenta la vista general de la sala de alimentos vivos y la sala moluscos. Estos ambientes están separados; sin embargo, la distribución de los componentes es similar, solo difieren en el número de tanques. Así que se considera la misma figura para su explicación. En el lado izquierdo se ubican los sensores de flujo y la válvula proporcional encargados de suministrar oxígeno y del ingreso de agua del mar. A su vez, se disponen de 2 racks con 2 fluorescentes entre los tanques de cultivo y las electroválvulas para abrir o cerrar el flujo.

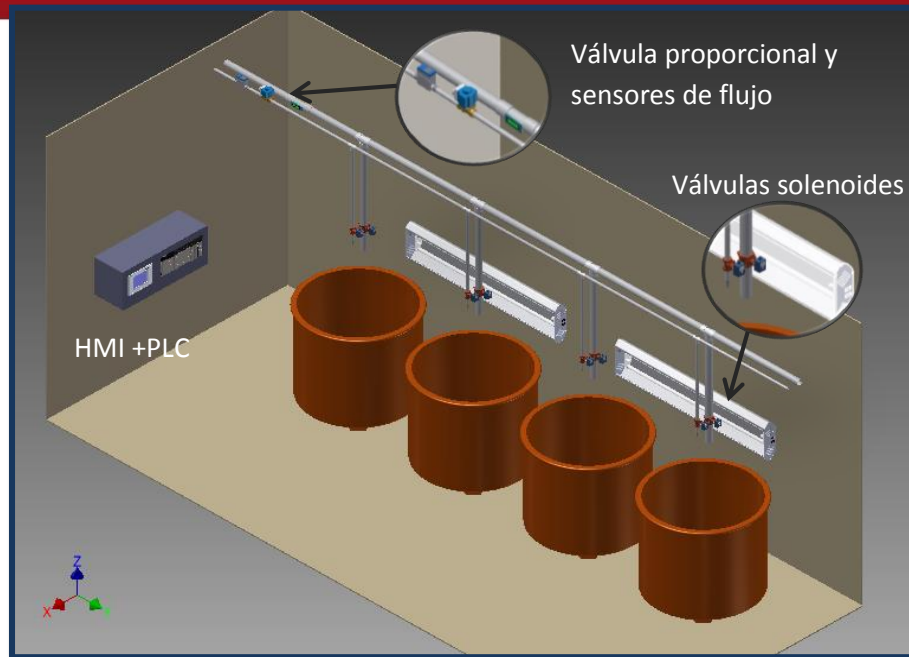


Fig. 2.1 Vista isométrica de la sala de alimentos vivos y moluscos

La fig. 2.2 muestra la sala de microalgas, en donde se aprecian 3 estantes que contienen bidones en la parte inferior y matraces en los compartimientos. Cada uno de estos espacios tiene una válvula solenoide que al conectarlo con una manguera abastecen de CO<sub>2</sub> a las microalgas. Para el variador de colores en iluminación, se cuentan con matrices de 3 x 4 de LED's RGB ubicados en la parte superior de los compartimientos del estante 2, cuyo fin es simular la luz solar y tonalidades para el procesos de fotosíntesis. En cuanto al control de flujo, en el lado derecho se ubican el sensor de flujo y la válvula proporcional.

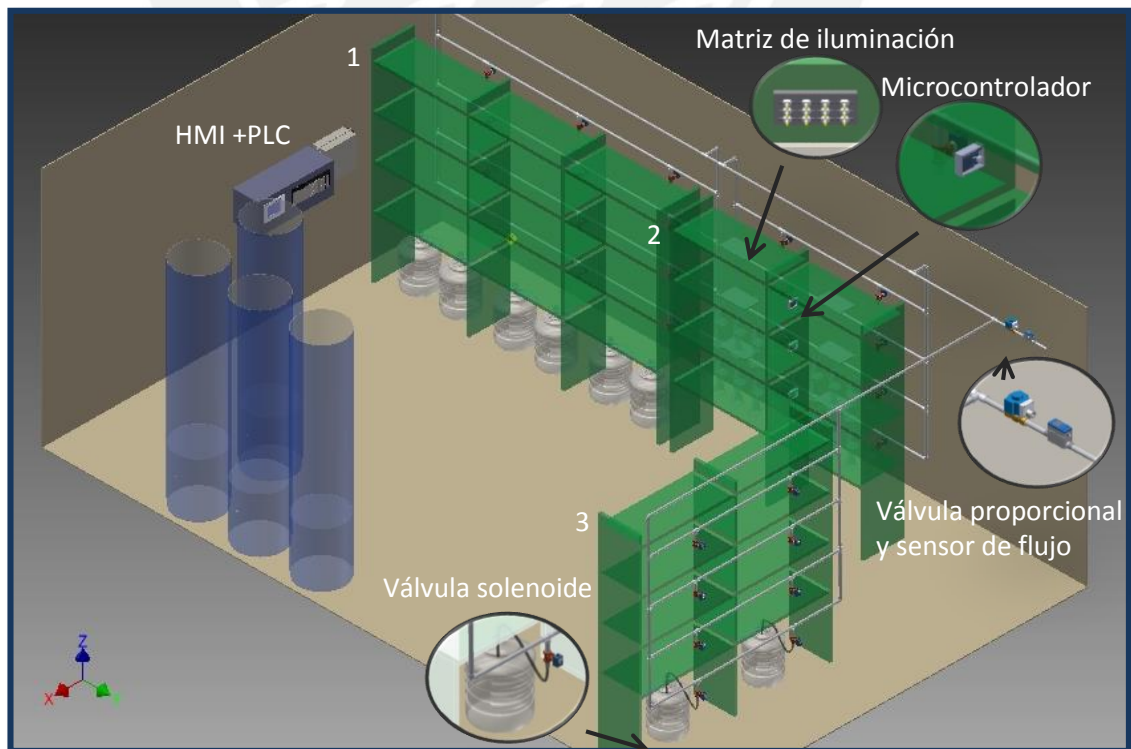


Fig. 2.2 Vista isométrica de la sala de microalgas



En las siguientes fig. 2.3 y 2.4, se observan la sala de reproductores y de larvicultura respectivamente. Estas se caracterizan por basarse en un RAS (Sistemas de Recirculación para Acuicultura), para mayor detalle de cómo funcionan, ver Anexo 1.

Así como en los anteriores casos, los sensores de flujo y la válvula proporcional van en las entradas de las tuberías de agua y oxigenación. En el caso específico de la sala de reproductores, se tiene un equipo analizador de agua que evalúa constantemente los parámetros detallados en los requerimientos. Además dentro de los tanques con capacidad de  $2.5\text{m}^3$ , justo en la tubería que abastece de agua del mar, se colocan las tiras de LED's RGB para el sistema de fotoperiodo. Las fuentes y los microcontroladores están ubicados dentro de un tablero de control. En el extremo izquierdo, se hallan los biofiltros (color verde) encargados de eliminar compuestos contaminantes del fluido circulante mediante un proceso biológico [5] [6].

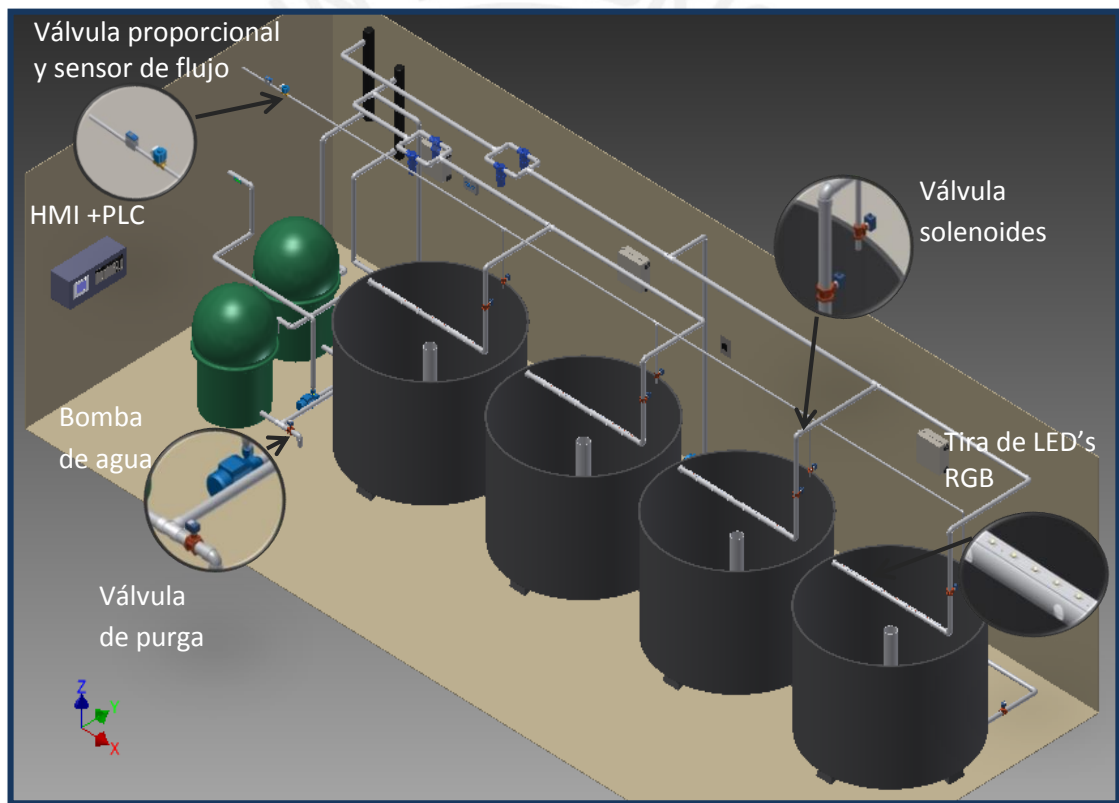


Fig. 2.3 Vista isométrica de la sala de reproductores

Por otro lado, en la sala de larvicultura se ubican transmisores de temperatura contenidos en un termopozo para su protección en cada tanque. A diferencia del ambiente anterior, en esta se tiene un estanque intermedio abierto (color amarillo) que incluye un controlador de temperatura, cuya función es encender la bomba de calor cuando disminuye el set point de esta variable. Dentro de este depósito, también se encuentra un sensor de nivel tipo flotador que informa al PLC cuándo debe abrir la válvula de purga.

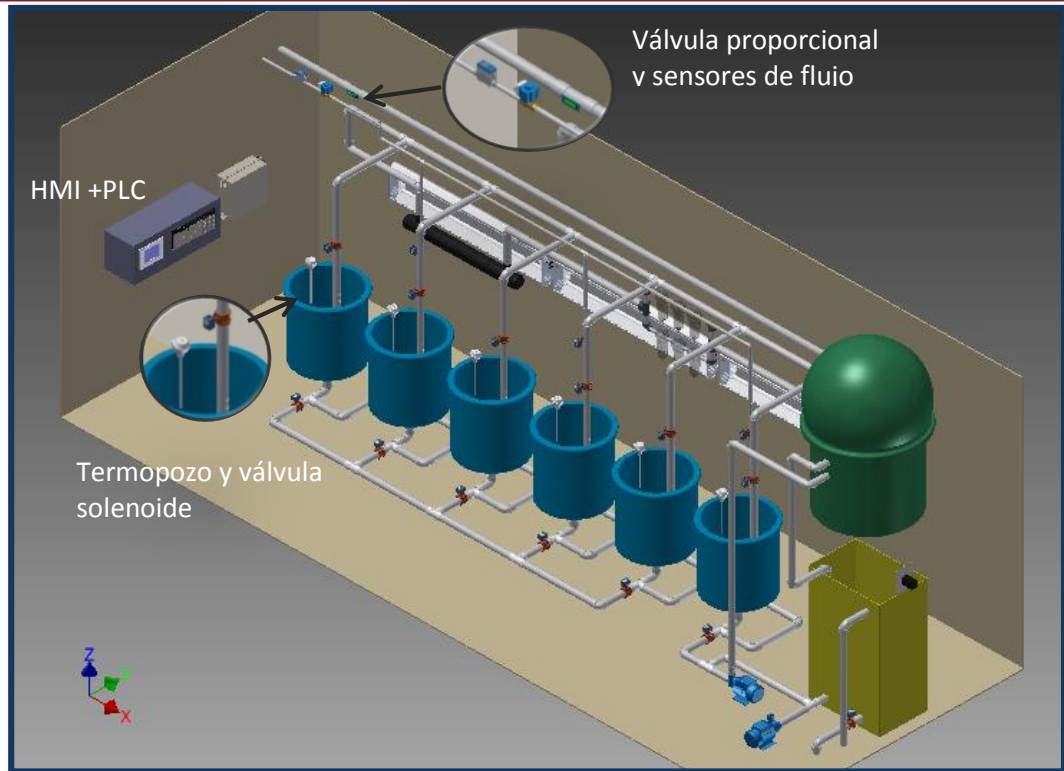


Fig. 2.4 Vista isométrica de la sala de larvicultura

La fig. 2.5 muestra la ventana principal del SCADA, la cual brinda información si está circulando flujo de oxigenación, caudal de agua marina o flujo de CO<sub>2</sub> de cada una de las salas. Ello se observa mediante indicadores (Verde= flujo OK, Rojo=sin flujo). También, se visualizan las ventanas de las salas del laboratorio y al lado izquierdo el menú de comandos para ingresar a las alarmas, tendencias e informes. [4].

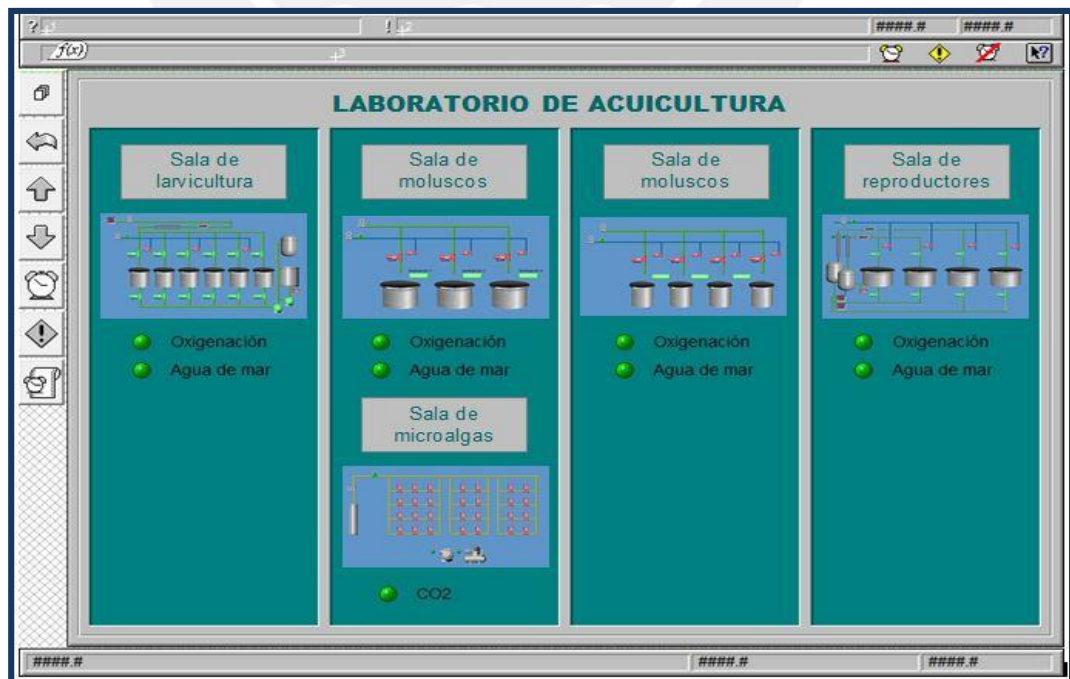


Fig. 2.5 Ventana principal del SCADA

# Capítulo 3

## Sistema mecatrónico

### 3.1. Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

La fig. 3.1 muestra el diagrama de bloques del funcionamiento planteado que da una vista general de los procedimientos. Como se puede apreciar, en la totalidad de las salas se necesita controlar válvulas solenoides para el ingreso de oxígeno, CO2 y agua. Además de controlar el flujo de oxigenación y encender ciertos equipos como los purificadores UV y las bombas de agua. Luego, se tienen procesos característicos de cada ambiente que requieren una solución independiente, los cuales fueron explicados en el capítulo anterior. Se debe recalcar que absolutamente todos los bloques trabajan de forma paralela

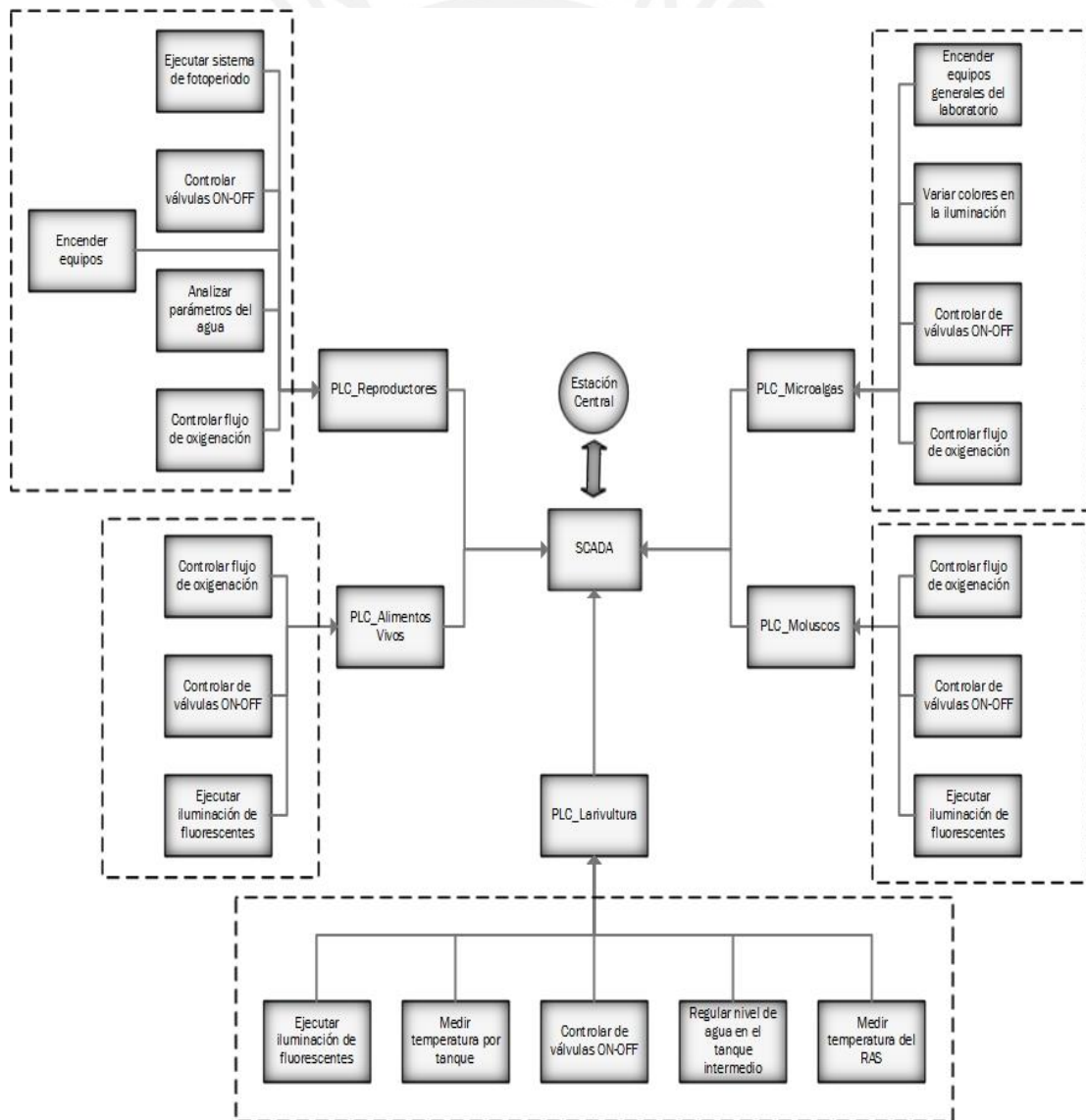


Fig. 3.1. Diagrama de bloques

### 3.2. Sensores, transmisores y actuadores

#### 3.2.1. Sensores

##### 3.2.1.1. Sensores de flujo

##### 3.2.1.1.1. Para aire y CO2

Este sensor se utiliza para la medición del caudal de aire que se envía al PLC a través de una señal analógica de 4-20mA. Ello permitirá graduar el flujo que circula a través de las válvulas proporcionales. Se necesita un sensor para cada una de las salas correspondientes dando un total de 5 y se ubican en la entrada de la tubería PVC de 1/2" destinados para la oxigenación (aire). En el caso de CO2, se mantiene un flujo de 2 l/min, mientras que el rango de trabajo para aire se especifica en la tabla 3.2.1.

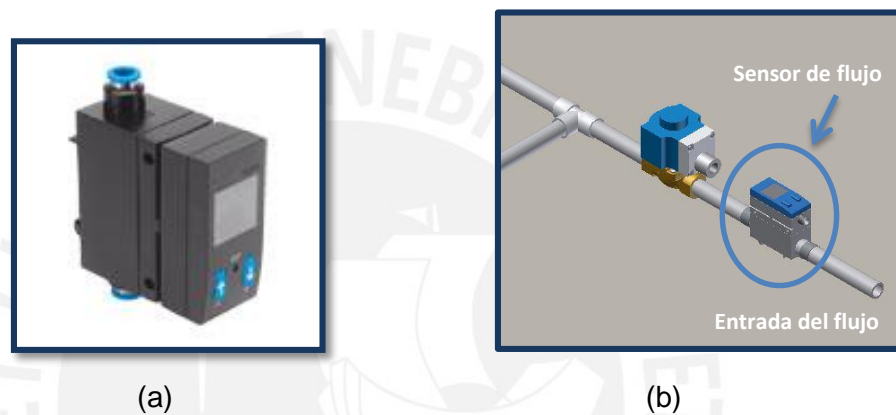


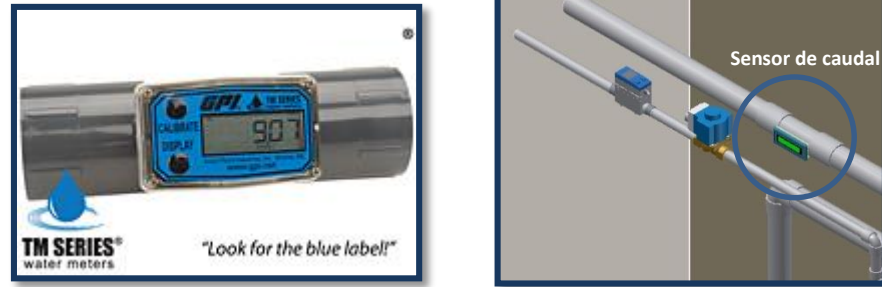
Fig. 3.2.1:  
(a) Sensor de caudal de aire seleccionado  
(b) Ubicación del sensor

Tabla 3.2.1 Características del sensor de caudal de aire

|         |                      |
|---------|----------------------|
| Marca   | Festo                |
| Modelo  | SFAB-10U-HQ6-2SA-M12 |
| Rango   | 0.1-10 l/min         |
| Presión | 0-10Bar              |
| Salida  | 4-20mA               |

##### 3.2.1.1.2. Para agua

De manera similar al sensado del aire y gases, se tiene un monitoreo del caudal de agua. En este caso, dado que las tuberías para el transporte del agua son de PVC de 1 1/2", mientras que el sensor tiene conexión de 1/2", se utilizan reductores. A su vez para mostrar el flujo real del conducto y no del acople, al flujo que se le envía al PLC, tiene que multiplicarse por un factor de 9 por la relación de áreas de las secciones de conexión. Este cálculo se encuentra en el Anexo 2. El rango de trabajo se encuentra en la tabla 3.2.2.



(a)

(b)

Fig. 3.2.2:

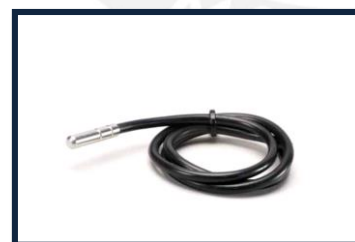
- (a) Sensor de caudal de agua seleccionado
- (b) Ubicación del sensor

Tabla 3.2.2 Características del sensor de caudal de agua

|        |          |
|--------|----------|
| Marca  | GPI      |
| Modelo | TM050-N  |
| Rango  | 1-10 GPM |
| Salida | 4-20mA   |

### 3.2.1.2. Sensor de temperatura

En cuanto al requerimiento del monitoreo de temperatura, por cada tanque se utilizan sensores PTC1000. Estos poseen un rango de 0 – 100°C y se conectan a un transmisor de temperatura. Ello admite trabajar los tanques independientemente, es decir, el sistema de recirculación del agua se desactiva y se emplean los depósitos para cultivos de artemias (crustáceos que se emplean en acuicultura como alimentación para los peces). Este proceso es exclusivamente para la sala de larvicultura.



(a)



(b)

Fig. 3.2.3:

- (a) Sensor de temperatura seleccionado
- (b) Transmisor de temperatura PTC1000

Los transmisores se utilizan esencialmente para pasar la información de los sensores de temperatura mencionados anteriormente al PLC mediante una señal de 4-20mA.

Tabla 3.2.3 Características del sensor de temperatura

|             |         |
|-------------|---------|
| Marca       | Danfoss |
| Modelo      | EKS 111 |
| Rango       | 0-100°C |
| Resistencia | PTC1000 |

Tabla 3.2.4 Características del transmisor de temperatura

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| Marca   | PR Electronics        |
| Modelo  | 5333A                 |
| Entrada | PT100, PTC1000, NI100 |
| Salida  | 4-20mA                |

### 3.2.1.3. Sensor de nivel

Este sensor se coloca en el tanque intermedio (pulmón) de la sala de larvicultura y en un modo de operación NC (normalmente cerrado). Cuando el nivel del agua sobrepase se abre el contacto y se envía una señal al PLC. Es así como se evita un posible derramamiento puesto que el tanque es abierto.



Fig. 3.2.4 Sensor de nivel seleccionado

Tabla 3.2.5 Características del sensor de nivel

|                   |        |
|-------------------|--------|
| Marca             | Hamlin |
| Modelo            | 59630  |
| Modo de operación | NO-NC  |

## 3.2.2. Actuadores

### 3.2.2.1. Válvulas solenoides para agua

En cada una de las salas se cuentan con válvulas solenoides ON-OFF que permiten la recirculación del agua de mar (sala de larvicultura y sala de reproductores) o el ingreso del agua marina (sala de alimentos vivos y sala de moluscos). Todas ellas se alimentan a 24VDC que se conectan al PLC como salidas digitales. Además, dependiendo del uso se tienen del tipo NO y NC.

Los normalmente abiertos son para mantener el ciclo de recirculación, en cambio, los normalmente cerrados son para habilitar el ingreso del flujo y la purga. Referente al consumo de corriente, cada uno de estos actuadores emplea 0.8A. Los cálculos de la cantidad total para las distintas salas se encuentran en el Anexo 3.

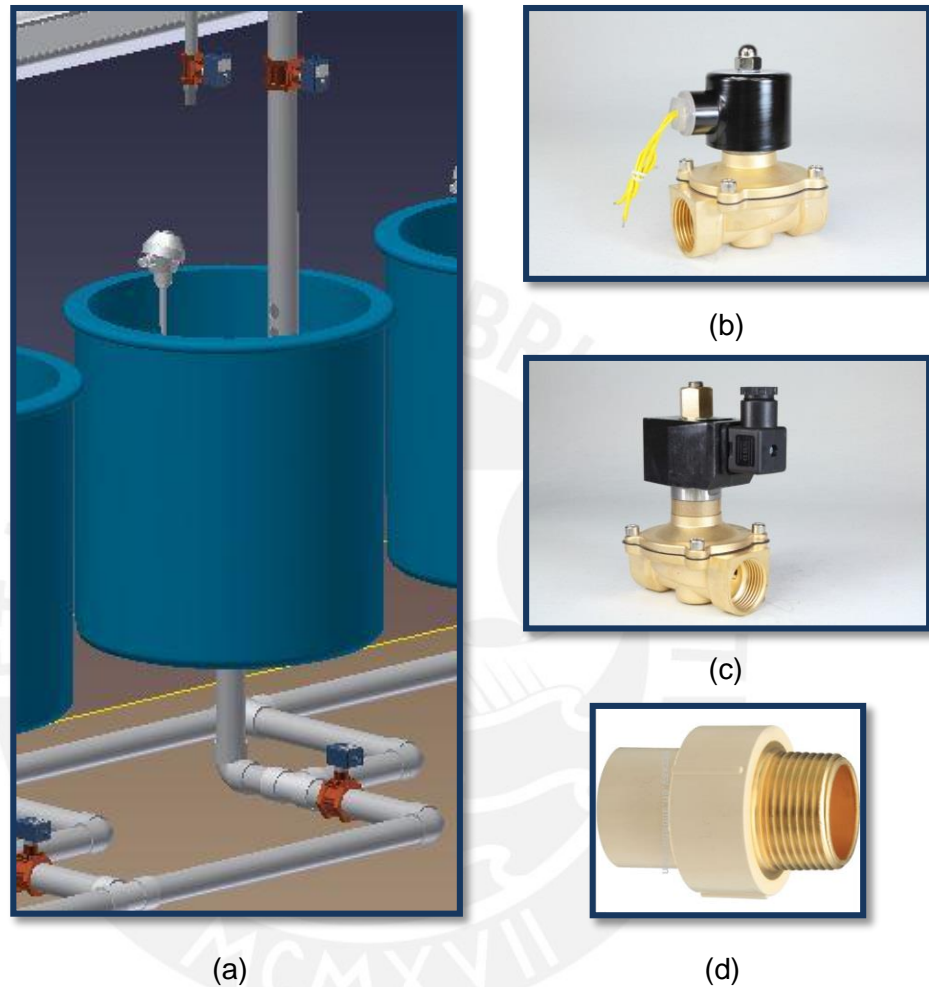


Fig. 3.2.5:

- (a) Ubicación de las válvulas solenoides en el sistema de recirculación de agua
- (b) Válvula solenoide NC seleccionado
- (c) Válvula solenoide NO seleccionado
- (d) Adaptador latón-PVC referencial

Tabla 3.2.6 Características de las válvulas solenoides para agua de mar

|              |        |
|--------------|--------|
| Marca        | Bosun  |
| Modelo       | 2W250  |
| Material     | Latón  |
| Alimentación | 24VDC  |
| Conexión     | 1 1/2" |

Como se observa, el material de la electroválvula no es de PVC. Por lo tanto, es necesario adquirir adaptadores de latón a PVC para su correcta instalación.

### 3.2.2.2. Válvulas solenoides para aire y gases

Estos tipos de válvulas son manejados especialmente en la sala de microalgas y en las tuberías para oxigenación de los demás ambientes. Su diafragma es operado por un servo y soporta una presión de 0.8MPa, lo suficiente para mantener el flujo de aire en un rango de trabajo de 2-5 LPM. Además, estos consumen 0.2A. El cálculo del consumo total de corriente se encuentra en el Anexo 3.

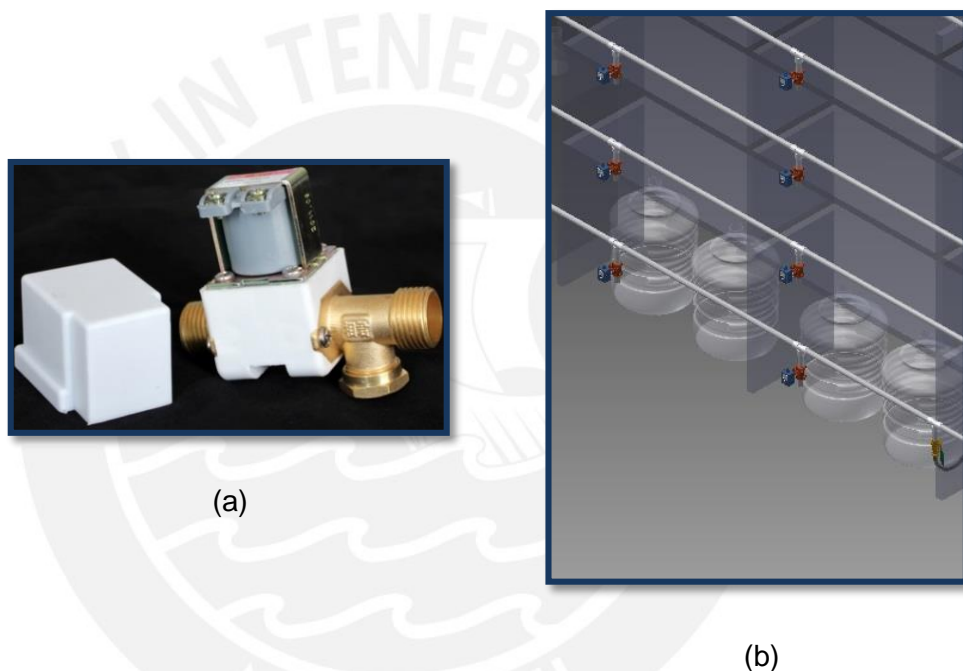


Fig. 3.2.6:  
(a) Válvula solenoide NC para aire  
(b) Ubicación de las válvulas en la sala de microalgas

Tabla 3.2.7 Características de las válvulas solenoides para oxigenación y CO<sub>2</sub>

|              |        |
|--------------|--------|
| Modelo       | TFW-1S |
| Material     | Latón  |
| Alimentación | 24VDC  |
| Conexión     | ½"     |

### 3.2.2.3. Válvulas proporcionales

Estos actuadores son requeridos para regular el flujo de oxigenación de cada una de las salas (menos la de microalgas) dentro de un rango de 0.9-6 GPM.



Su control es de 4-20 mA y va directamente al módulo de expansión analógico. Asimismo, se alimenta a 24VDC.

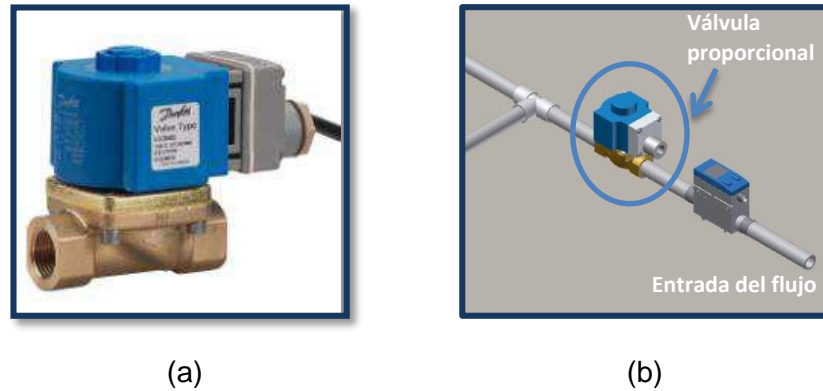


Fig. 3.2.7

- (a) Válvula proporcional seleccionada
- (b) Ubicación de la válvula proporcional

Tabla 3.2.8 Características de las válvulas proporcionales

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| Marca                   | Danfoss      |
| Modelo                  | EV260B 15B   |
| Rango                   | 0,9 - 6 GPM  |
| Presión                 | 0.5 a 10 Bar |
| Control de alimentación | 4-20mA       |

### 3.3. Controladores y periféricos

#### 3.3.1. PLC's

Los plc's son requeridos para enviar y recibir las señales de control de todos los sensores y actuadores que se presentan en el laboratorio. Este modelo se alimenta a 24VDC y se emplea para cada una de las salas Además, al tener un grado de protección IP20 se necesita incluirlo dentro de un tablero de control. A su vez, posee reloj en tiempo real, útil para sincronizar la hora en el sistema de fotoperiodo.



Fig. 3.3.1 PLC Twido Modular seleccionado

Tabla 3.3.1 Características del PLC

|              |  |
|--------------|--|
| Marca        | Schneider Electric                             |
| Modelo       | TWDLMDA20DTK                                   |
| Alimentación | 24VDC  |
| E/S          | 12 Input 24VDC 8 Output (2 transistor 6 relay) |

### 3.3.2. Arduinos

Microcontrolador encargado del sistema de iluminación y el fotoperiodo para las salas de microalgas y reproductores respectivamente. El arduino Pro-mini presenta 6 salidas PWM, las cuales son utilizadas para controlar 2 matrices de 12 LED's RGB cada una o tiras de LED's RGB por 1 metro (120 focos en total). Conjuntamente, se manejan adaptadores TTL-RS232 que permiten enviar la información al PLC y manejar los controles de programación en el SCADA.

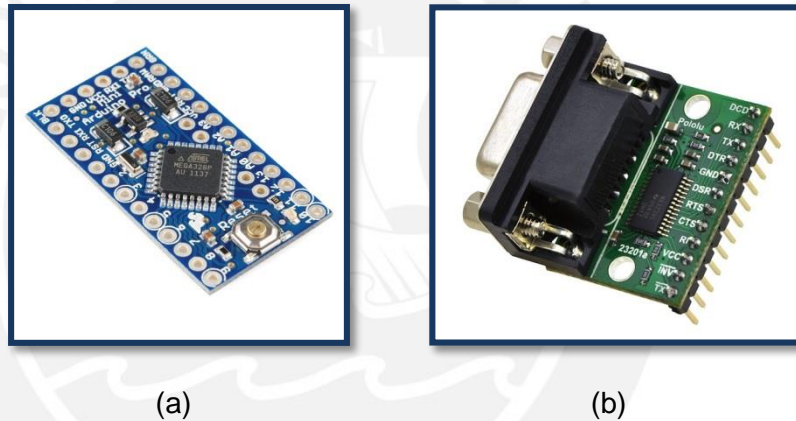


Fig. 3.3.2:  
(a) Arduino Pro-mini seleccionado  
(b) Adaptador TTL-RS232

Tabla 3.3.2 Características del microcontrolador

|              |                     |
|--------------|---------------------|
| Marca        | Arduino             |
| Modelo       | Pro-mini 328 16MHz  |
| Alimentación | 12-5VDC             |
| Pines        | Analog 8 Digital 14 |

### 3.3.3. HMI

Se usan como interfaz del SCADA y se ubican en cada una de las salas. Su conexión es a través de un switch a Ethernet.



Fig. 3.3.3 HMI Ethernet Kinco seleccionado

Tabla 3.3.3 Características del HMI

|              |             |
|--------------|-------------|
| Marca        | Kinco       |
| Modelo       | MT4424TE    |
| Alimentación | 24VDC       |
| Display      | 7" 16:9 TFT |

### 3.3.4. Controlador de temperatura

Se utiliza en la sala de Larvicultura para llevar el control a una temperatura dada del sistema de recirculación de agua. Todos los datos son enviados al PLC que almacena el registro de este parámetro. Su control es del tipo PID.



Fig. 3.3.4 Controlador de temperatura seleccionado

Tabla 3.3.4 Características del controlador PID

|              |            |
|--------------|------------|
| Marca        | Brainchild |
| Modelo       | BTC9100    |
| Alimentación | 220VAC     |
| Rango        | -10 a 50°C |

### 3.4. Módulos de expansión

#### 3.4.1. Módulos analógicos

Este módulo permite 2 entradas y 1 salida analógica, las cuales son utilizadas para los sensores de flujo y la válvula proporcional de todas las salas (1 módulo por cada una). Con ello, se mantiene el control del flujo de todas las salas, puesto que admiten el modo corriente de 4-20mA o voltaje de 0-10V. Para este caso, se emplea el primero dado que no se quiere pérdidas de señal y tener la ventaja de conexión a gran distancia.



Fig. 3.4.1 Módulo analógico seleccionado

Tabla 3.4.1 Características del módulo analógico

|              |                    |
|--------------|--------------------|
| Marca        | Schneider Electric |
| Modelo       | TM2AMM3HT          |
| Alimentación | 24VDC              |
| E/S          | 2 Input – 1 Output |

El segundo modelo de la figura 3.4.2 corresponde al TM2ARI8HT que admite 8 entradas analógicas. Su uso específico es adquirir los datos térmicos de cada uno de los tanques constantemente en la sala de larvicultura.



Fig. 3.4.2 Módulo analógico seleccionado

Tabla 3.4.2 Características del módulo analógico

|              |                    |
|--------------|--------------------|
| Marca        | Schneider Electric |
| Modelo       | TM2ARI8HT          |
| Alimentación | 24VDC              |
| E/S          | 8 Input            |

### 3.4.2. Módulos digitales

Se usan para la conexión de las electroválvulas, bombas de agua, bombas de calor, purificadores UV y fluorescentes se demanda gran cantidad de salidas digitales.

#### 3.4.2.1. Tipo transistor

Se utiliza únicamente para la sala de microalgas, en donde se tiene gran cantidad de válvulas solenoides, un total de 30. Este ejemplar soporta 4A por salida común y 0.6A por canal, con lo cual se cumplen con los requisitos de las electroválvulas (0.2A). Para mayor información de los cálculos, ver Anexo 3.



Fig. 3.4.3 Módulo digital transistor seleccionado

Tabla 3.4.3 Características del módulo analógico

|              |                     |
|--------------|---------------------|
| Marca        | Schneider Electric  |
| Modelo       | TM2DDO8TT           |
| Alimentación | 24VDC               |
| E/S          | 8 Output transistor |

#### 3.4.2.2. Tipo relés

En las salas restantes, se poseen electroválvulas que necesitan más corriente (0.8A). Por ello, es necesario utilizar relés para satisfacer el mayor consumo. Incluso, son inevitables para conectar las bombas de agua, purificadores UV, fluorescentes y bombas de calor. Los cálculos se encuentran en el Anexo 3.



Fig. 3.4.4 Módulo digital relé seleccionado

Tabla 3.4.4 Características del módulo analógico

|              |                    |
|--------------|--------------------|
| Marca        | Schneider Electric |
| Modelo       | TM2DRA16RT         |
| Alimentación | 24VDC              |
| E/S          | 16 Output relay    |

### 3.4.3. Módulos de comunicación

#### 3.4.3.1. RS232

Estos módulos TWDNOZ232D permiten la comunicación entre el Arduino y el PLC. A su vez, al poseer entrada mini DIN se utilizan cables de MiniDIN 6 a DB9 para la correcta transferencia de datos. La longitud máxima permitida es de 15m.

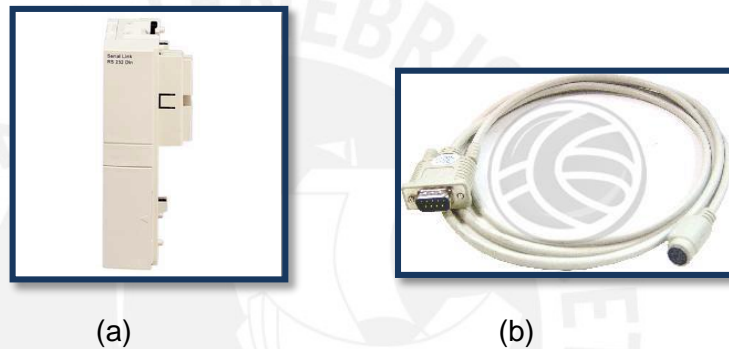


Fig. 3.4.1: Comunicación RS232  
(a) Interfaz módulo RS232  
(b) Cable MiniDIN6 a DB9

#### 3.4.3.2. RS485

Esta interfaz TWDNOZ485D se emplea para la comunicación entre el analizador de agua que supervisa los siguientes parámetros: El oxígeno disuelto (OD), la conductividad, la salinidad, temperatura, pH y Potencial de Reducción de Oxidación (ORP), ver Anexo 5. Todo ello se da para el sistema de recirculación de la sala de reproductores.

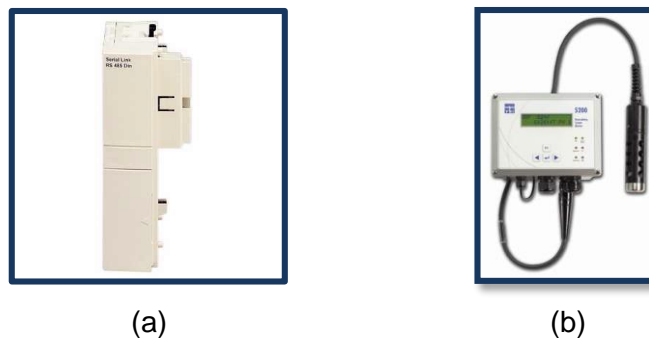


Fig. 3.4.2 Comunicación RS485  
(a) Interfaz módulo RS485  
(b) Analizador de agua YSI 5200

### 3.5. Planos del sistema mecatrónico

#### 3.5.1. Diagramas P&ID

A continuación se muestran los diagramas P&ID de cada una de las salas. En ellas se muestran los instrumentos, los equipos y las válvulas. [3]

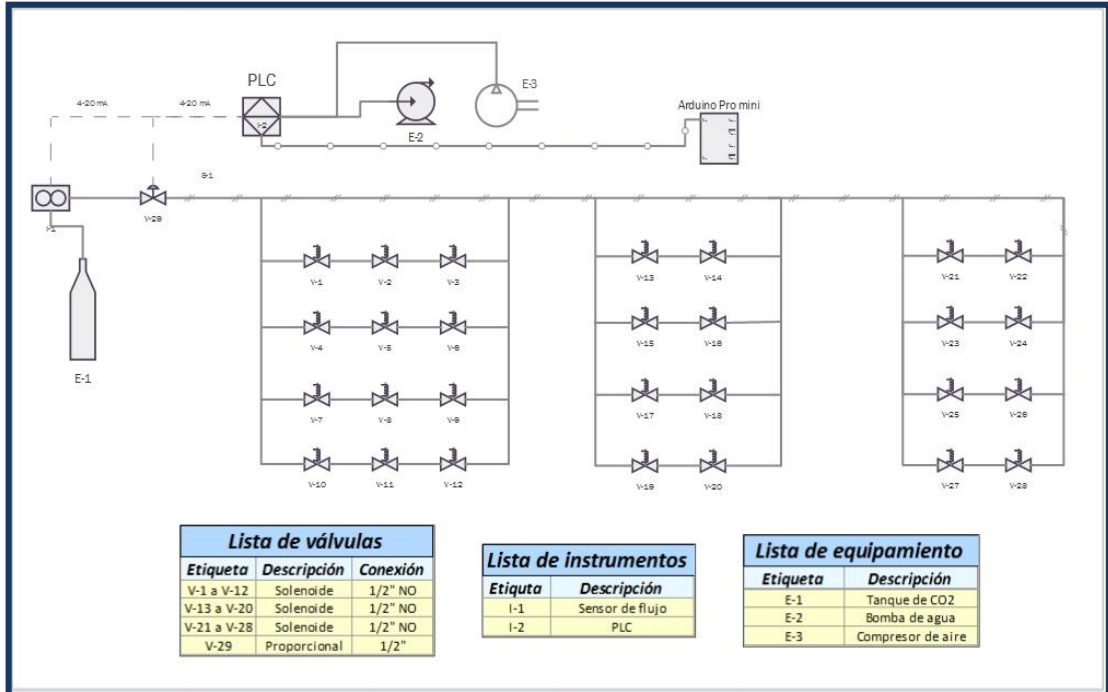


Fig 3.5.1 P&ID de la sala de microalgas

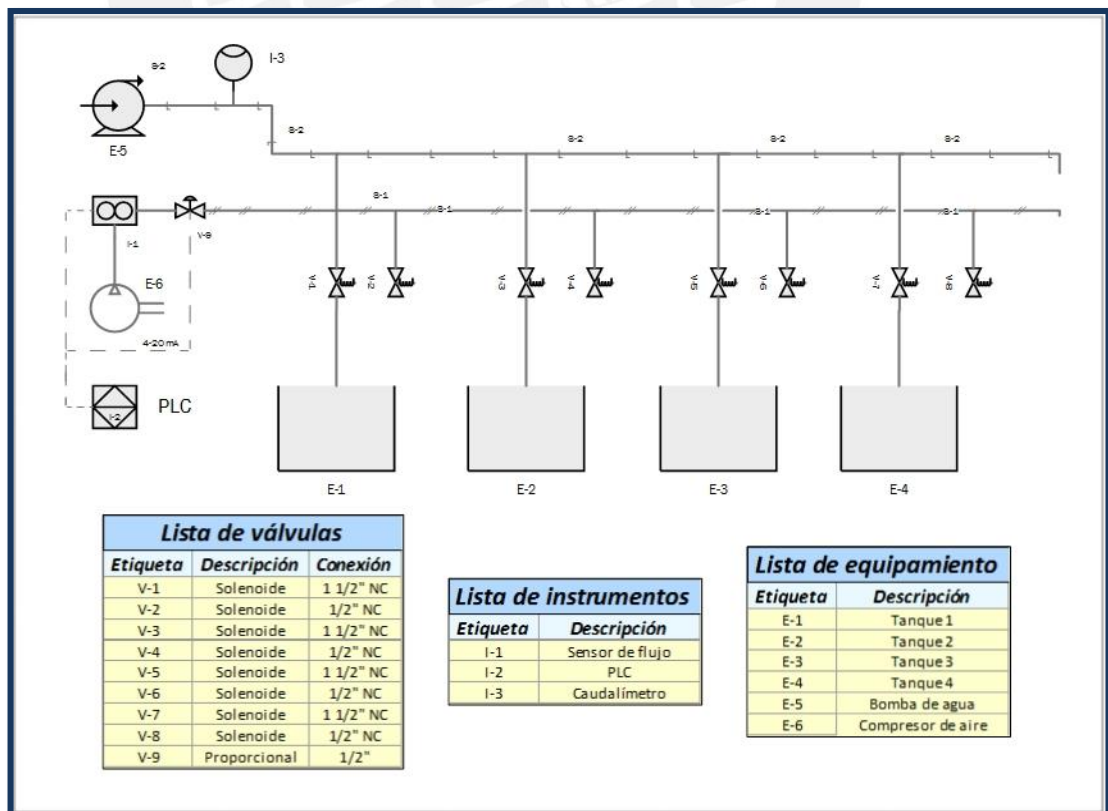


Fig 3.5.2 P&ID de la sala de alimentos vivos y moluscos

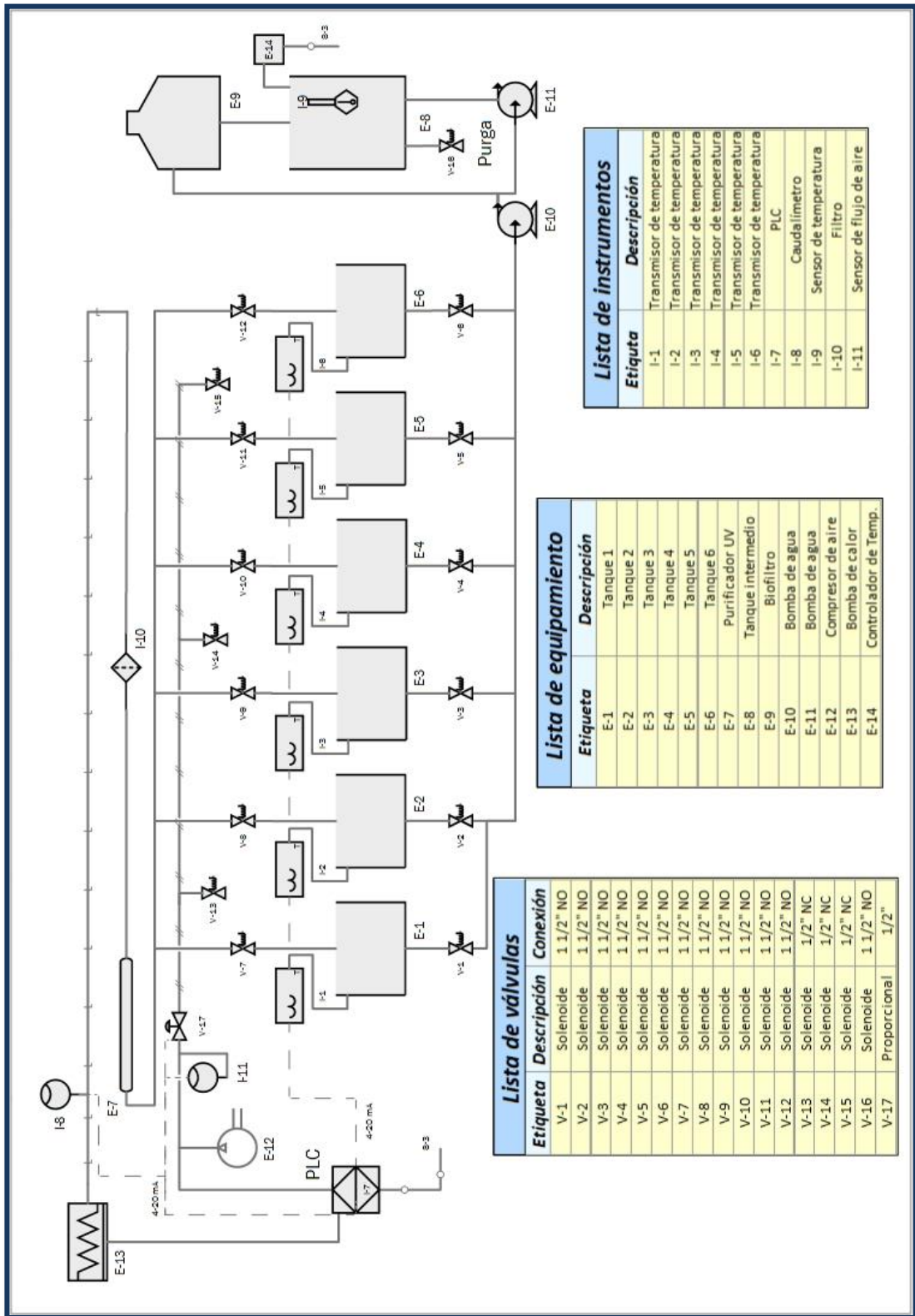
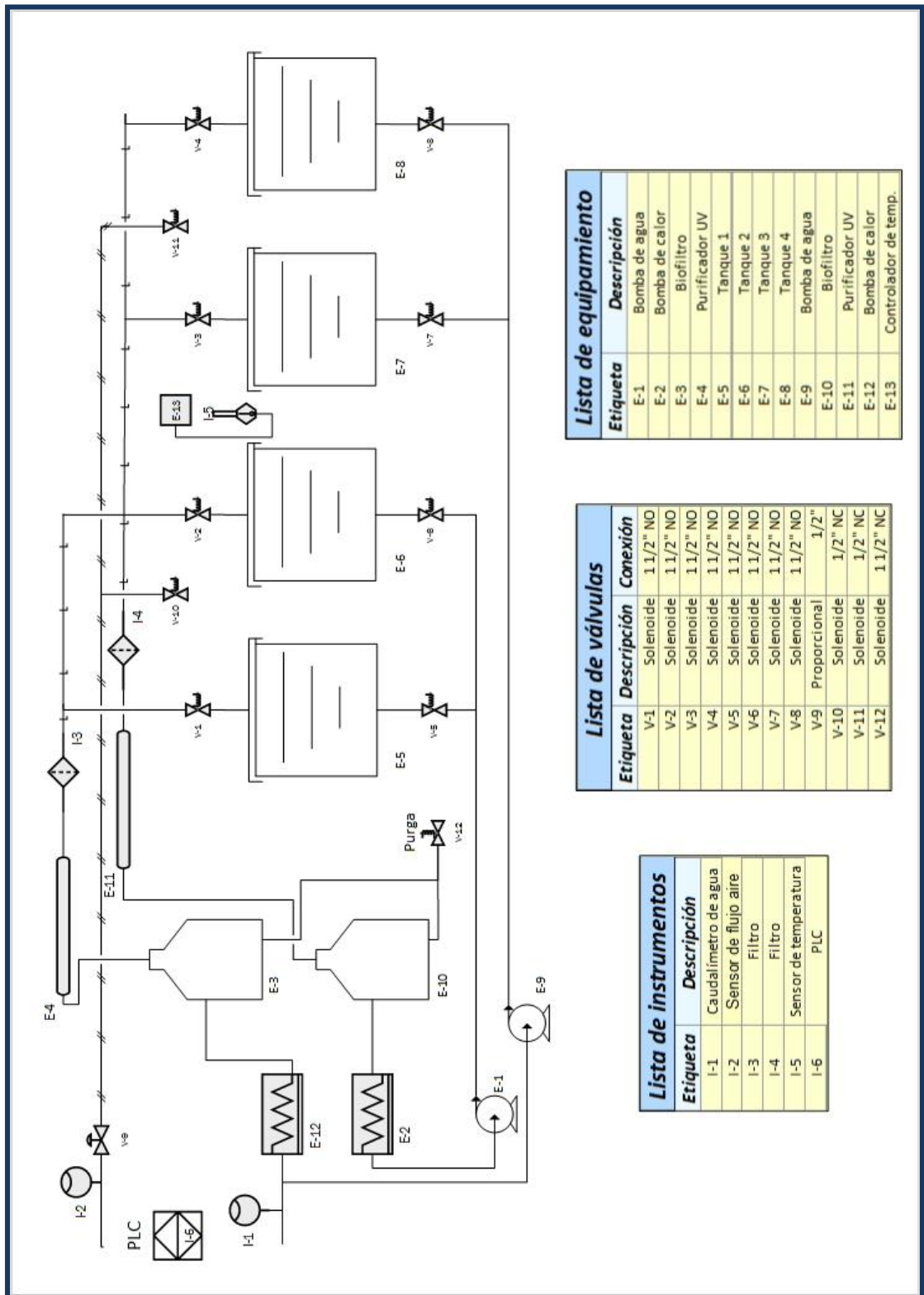


Fig 3.5.3 P&ID de la sala de larvicultura





| Etiqueta | Descripción          |
|----------|----------------------|
| E-1      | Bomba de agua        |
| E-2      | Bomba de calor       |
| E-3      | Biofiltro            |
| E-4      | Purificador UV       |
| E-5      | Tanque 1             |
| E-6      | Tanque 2             |
| E-7      | Tanque 3             |
| E-8      | Tanque 4             |
| E-9      | Bomba de agua        |
| E-10     | Biofiltro            |
| E-11     | Purificador UV       |
| E-12     | Bomba de calor       |
| E-13     | Controlador de temp. |

| Etiqueta | Descripción  | Conexión  |
|----------|--------------|-----------|
| V-1      | Solenoido    | 1 1/2" NO |
| V-2      | Solenoido    | 1 1/2" NO |
| V-3      | Solenoido    | 1 1/2" NO |
| V-4      | Solenoido    | 1 1/2" NO |
| V-5      | Solenoido    | 1 1/2" NO |
| V-6      | Solenoido    | 1 1/2" NO |
| V-7      | Solenoido    | 1 1/2" NO |
| V-8      | Solenoido    | 1 1/2" NO |
| V-9      | Proporcional | 1/2"      |
| V-10     | Solenoido    | 1/2" NC   |
| V-11     | Solenoido    | 1/2" NC   |
| V-12     | Solenoido    | 1 1/2" NC |

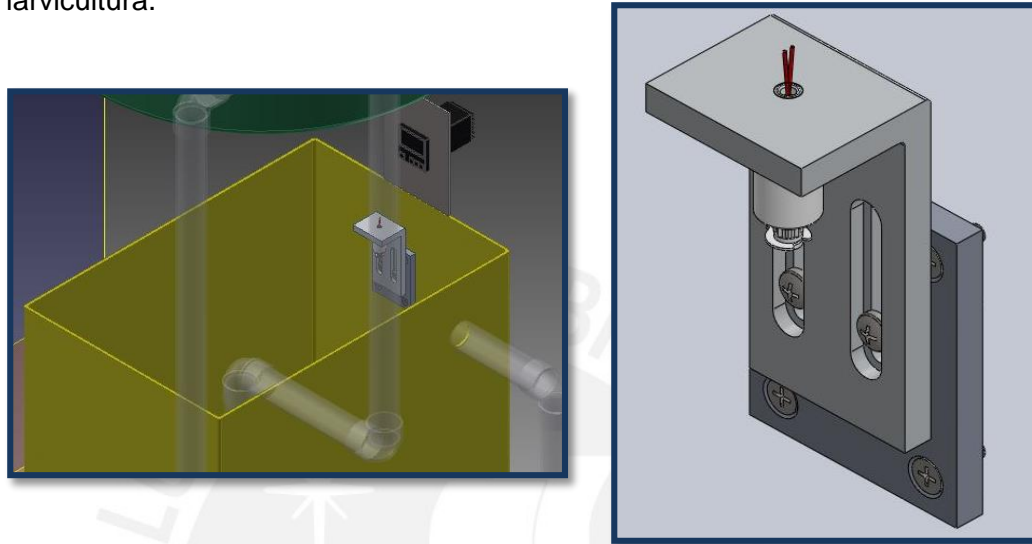
| Etiqueta | Descripción           |
|----------|-----------------------|
| I-1      | Caudalímetro de agua  |
| I-2      | Sensor de flujo aire  |
| I-3      | Filtro                |
| I-4      | Filtro                |
| I-5      | Sensor de temperatura |
| I-6      | PLC                   |

Fig 3.5.4 P&ID de la sala de reproductores

Nota: Las bombas de calor se ubican en la parte externa de las salas, ver Anexo 7.

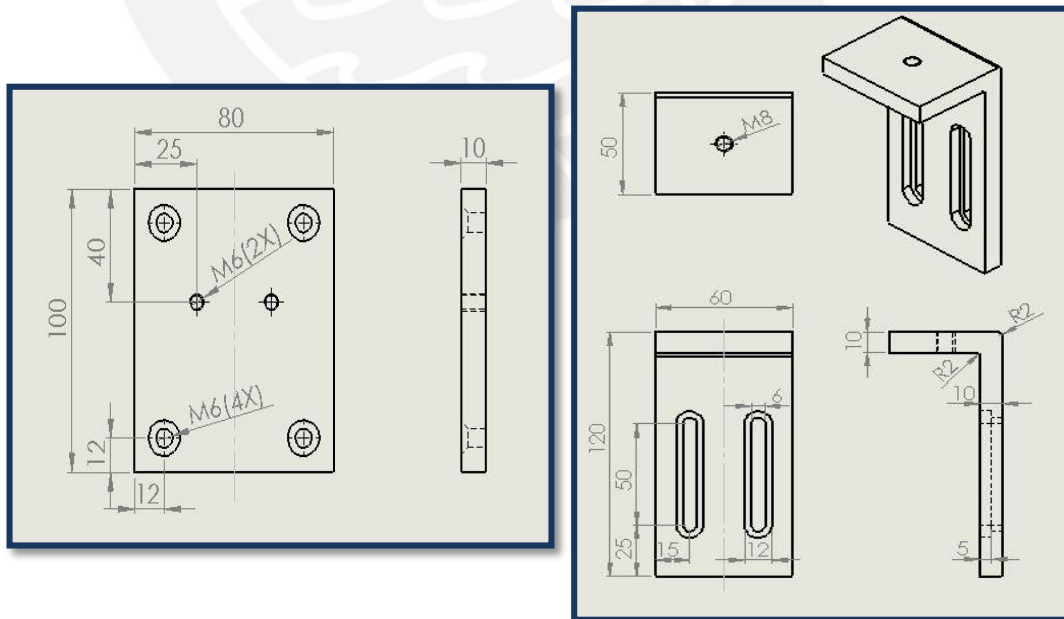
### 3.5.2. Soporte del sensor de nivel

Consta de 2 placas de aluminio que posicionan el sensor dentro del tanque. La placa base sirve para la fijación mediante 4 tornillos de cabeza avellanada M6. Mientras que, la placa soporte sostiene directamente el sensor de nivel a través de su rosca M8. Tiene la capacidad de moverse una distancia de 5 cm en el eje Z puesto que presenta un canal del mismo largo. Se ubica en la sala de larvicultura.



(a) (b)

Fig. 3.5.5 Soporte de sensor de nivel  
 (a) Ubicación del soporte dentro del tanque  
 (b) Vista isométrica del soporte



(a) (b)

Fig. 3.5.5 Planos del soporte  
 (a) Plano de despiece de la placa base  
 (b) Plano de despiece de la placa soporte

### 3.6. Diagramas esquemáticos y conexiones eléctricas de los circuitos del sistema mecatrónico

A continuación se indican las entradas y salidas de los PLC's distribuidos por salas. Así como, la cantidad de sensores y actuadores que controlarán y de ser requeridos emplear elementos para acondicionar la señal como contactores de alta potencia. Esto se debe a que el modelo de PLC modular (TWDLMDA20DRT) soporta 2A como máximo cuando se requiere mucho más.

Tabla 3.6.1 Señales usadas por el PLC en cada sala

| Sala            | Componente                    | Cantidad | E/S     | Voltaje | Corriente       | Tipo de conexión                   |
|-----------------|-------------------------------|----------|---------|---------|-----------------|------------------------------------|
| Microalgas      | Válvulas solenoides para gas  | 30       | Salidas | 24VDC   | 0.2A            | Digital-Transistor                 |
| Microalgas      | Válvula proporcional          | 1        | Salida  | 24VDC   | -               | Analógica 4-20mA                   |
| Microalgas      | Sensor de flujo               | 1        | Entrada | 24VDC   | -               | Analógica 4-20mA                   |
| Microalgas      | Compresor de aire general     | 1        | Salida  | 220VAC  | 10 <sup>a</sup> | Acondicionado – Relé alta potencia |
| Microalgas      | Bomba de agua general         | 1        | Salida  | 220VAC  | 10A             | Acondicionado – Relé alta potencia |
| Alimentos Vivos | Válvulas solenoides para aire | 8        | Salidas | 24VDC   | 0.2A            | Digital-Transistor                 |
| Alimentos Vivos | Válvulas solenoides para agua | 8        | Salidas | 24VDC   | 0.8A            | Digital-Relé                       |
| Alimentos Vivos | Válvula proporcional          | 1        | Salida  | 24VDC   | -               | Analógica 4-20mA                   |
| Alimentos Vivos | Sensor de flujo               | 1        | Entrada | 24VDC   | -               | Analógica 4-20mA                   |
| Alimentos Vivos | Sensor de caudal              | 1        | Entrada | 24VDC   | -               | Analógica 4-20mA                   |
| Alimentos Vivos | Fluorescentes                 | 8        | Salidas | 220AC   | 0.3A            | Digital-Transistor                 |
| Larvicultura    | Válvulas solenoides para aire | 6        | Salidas | 24VDC   | 0.2A            | Digital-Transistor                 |
| Larvicultura    | Válvulas solenoides para agua | 24       | Salidas | 24VDC   | 0.8A            | Digital-Relé                       |
| Larvicultura    | Válvulas solenoides purga     | 2        | Salidas | 24VDC   | 0.8A            | Digital-Relé                       |
| Larvicultura    | Válvula proporcional          | 1        | Salida  | 24VDC   | -               | Analógica 4-20mA                   |
| Larvicultura    | Sensor de flujo               | 1        | Entrada | 24VDC   | -               | Analógica                          |

| Sala          | Componente                    | Cantidad | E/S     | Voltaje | Corriente | Tipo de conexión   |
|---------------|-------------------------------|----------|---------|---------|-----------|--------------------|
| Larvicultura  | Sensor de caudal              | 1        | Entrada | 24VDC   | -         | Analógica          |
| Larvicultura  | Transmisores de temperatura   | 6        | Entrada | 24VDC   | -         | Analógica 4-20mA   |
| Larvicultura  | Sensor de nivel               | 1        | Entrada |         | 0.5A      | Digital            |
| Larvicultura  | Bombas de agua                | 4        | Salidas | 220AC   | 1A        | Digital-Relé       |
| Larvicultura  | Bombas de calor               | 2        | Salidas | 220AC   | -         | Digital-Relé       |
| Larvicultura  | Fluorescentes                 | 6        | Salidas | 220AC   | 0.3A      | Digital-Relé       |
| Larvicultura  | Purificadores UV              | 2        | Salidas | 220AC   | 0.5A      | Digital-Relé       |
| Moluscos      | Válvulas solenoides para aire | 6        | Salidas | 24VDC   | 0.2A      | Digital-Transistor |
| Moluscos      | Válvulas solenoides para agua | 6        | Salidas | 24VDC   | 0.8A      | Digital-Relé       |
| Moluscos      | Válvula proporcional          | 1        | Salida  | 24VDC   | -         | Analógica 4-20mA   |
| Moluscos      | Sensor de flujo               | 1        | Entrada | 24VDC   | -         | Analógica 4-20mA   |
| Moluscos      | Sensor de caudal              | 1        | Entrada | 24VDC   | -         | Analógica 4-20mA   |
| Moluscos      | Fluorescentes                 | 6        | Salidas | 220AC   | 0.3A      | Digital-Transistor |
| Reproductores | Válvulas solenoides para aire | 8        | Salidas | 24VDC   | 0.2A      | Digital-Transistor |
| Reproductores | Válvulas solenoides para agua | 16       | Salidas | 24VDC   | 0.8A      | Digital-Relé       |
| Reproductores | Válvulas solenoides purga     | 2        | Salidas | 24VDC   | 0.8A      | Digital-Relé       |
| Reproductores | Válvula proporcional          | 1        | Salida  | 24VDC   | -         | Analógica 4-20mA   |
| Reproductores | Sensor de flujo               | 1        | Entrada | 24VDC   | -         | Analógica          |
| Reproductores | Sensor de caudal              | 1        | Entrada | 24VDC   | -         | Analógica          |
| Reproductores | Bombas de agua                | 4        | Salidas | 220AC   | 1A        | Digital-Relé       |
| Reproductores | Bombas de calor               | 4        | Salidas | 220AC   | -         | Digital-Relé       |
| Reproductores | Purificadores UV              | 4        | Salidas | 220AC   | 0.5A      | Digital-Transistor |

### 3.6.1. Planos eléctricos

En este punto se muestran el diagrama de conexiones del PLC de larvicultura. Se considera dicha sala puesto que es una de los ambientes mejor equipado. Los otros planos se pueden ver a partir del Anexo 11.

En la figura 3.6.1 se aprecia el circuito que alimenta a las salas. Para la instalación de los sensores, actuadores y módulos se necesitan fuentes de voltaje de 24VDC y la misma toma de 220VAC. También, se hace uso de fuentes de 12VDC para los microcontroladores. Por seguridad como en toda conexión, se tienen llaves termomagnéticas en caso llegue a circular mayor cantidad de corriente.

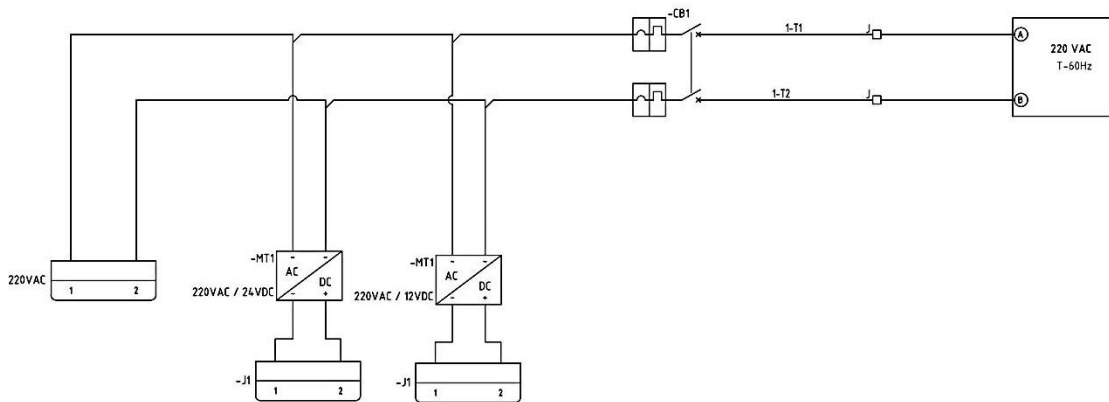


Fig 3.6.1 Plano eléctrico de alimentación referencial

En seguida, en la figura 3.6.2 se observa el módulo de comunicación RS232. Este protocolo es para la comunicación entre Arduinos-PLC y controladores de temperatura-PLC.

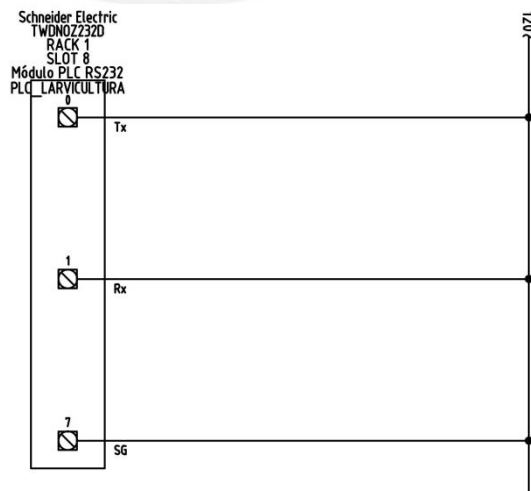


Fig 3.6.2 Plano de comunicación RS232

Las figuras sucesivas (desde 3.6.3 al 3.6.7) corresponden a los planos eléctricos que muestran las conexiones con los módulos de expansión del PLC. Sin olvidar que el modelo TWDLMDA20DRT acepta 7 expansiones como máximo. En cada una de ellas se detalla a qué canal va y la dirección física del PLC. Absolutamente, todos los módulos están identificados en qué slot se ubican.

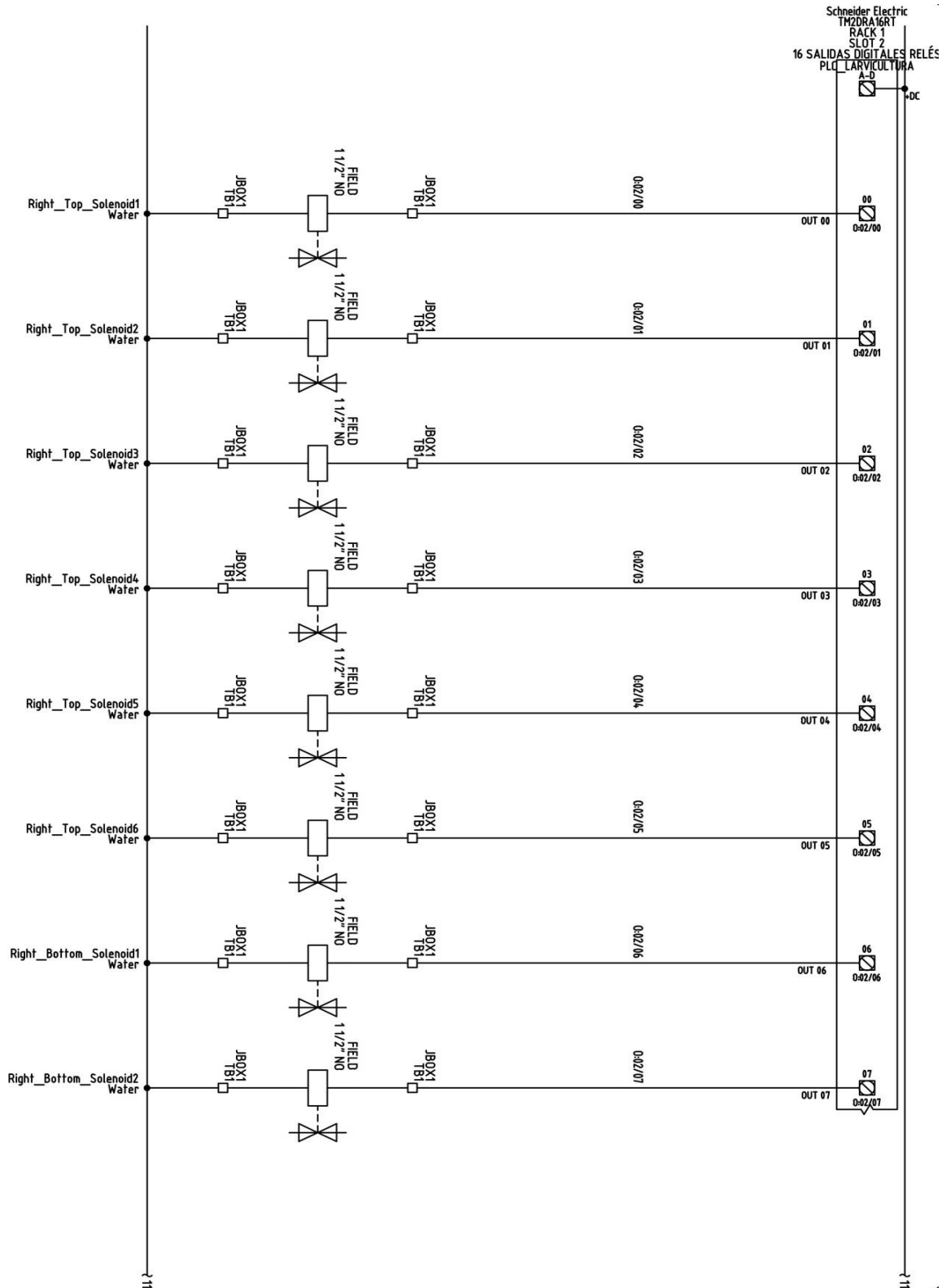


Fig 3.6.3 Plano eléctrico de conexión de actuadores y equipos parte1

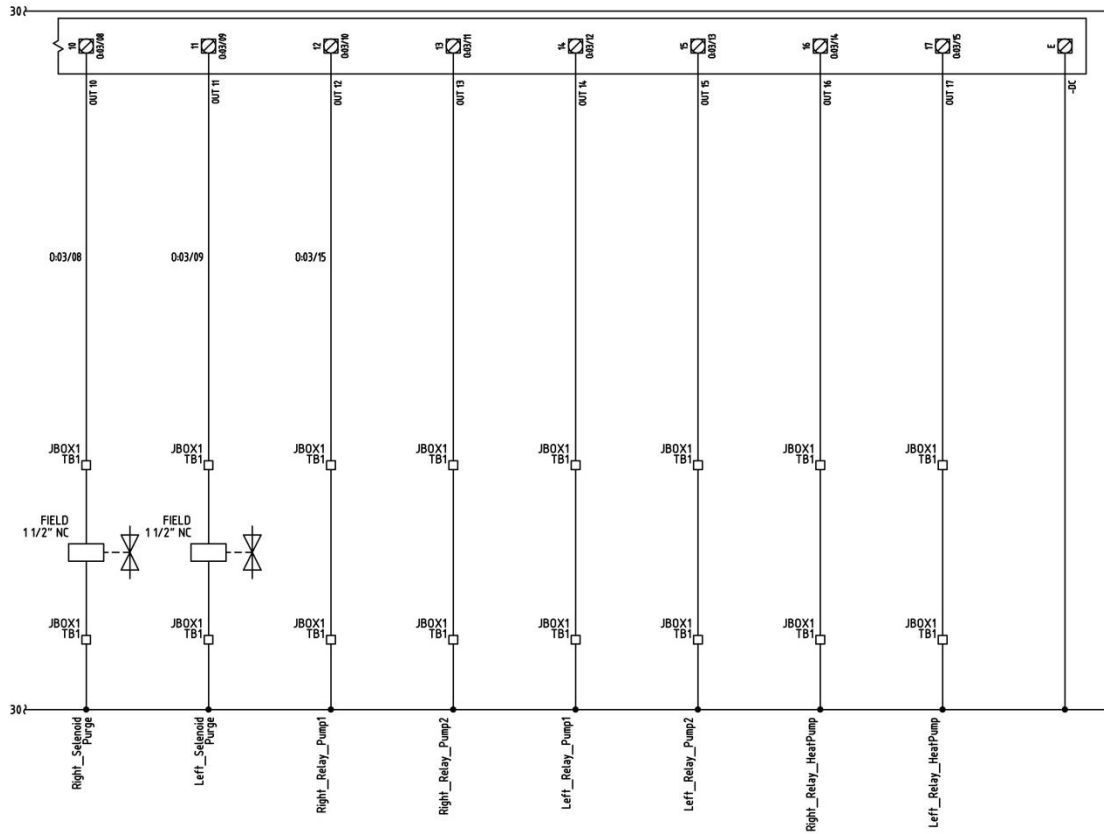


Fig 3.6.4 Plano eléctrico de conexión de actuadores y equipos parte 2

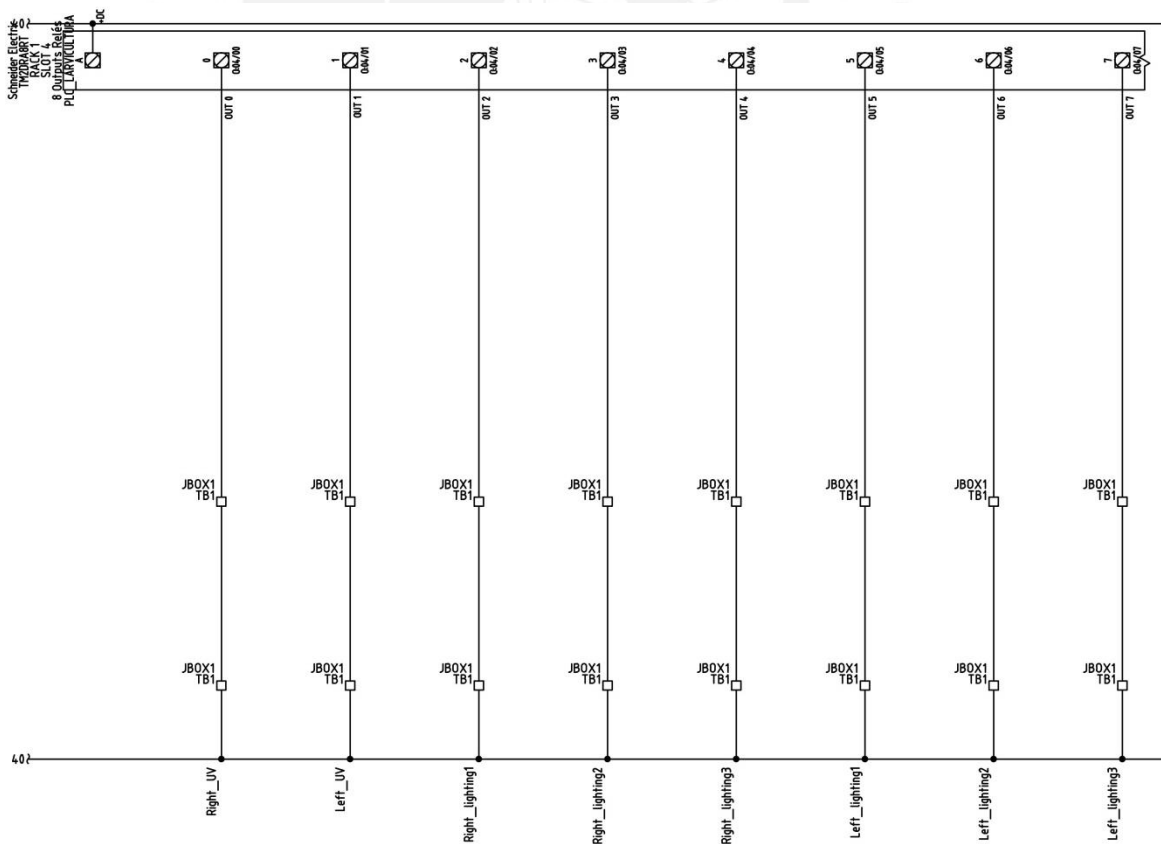


Fig 3.6.5 Plano eléctrico de conexión de purificadores UV e iluminación (fluorescentes)

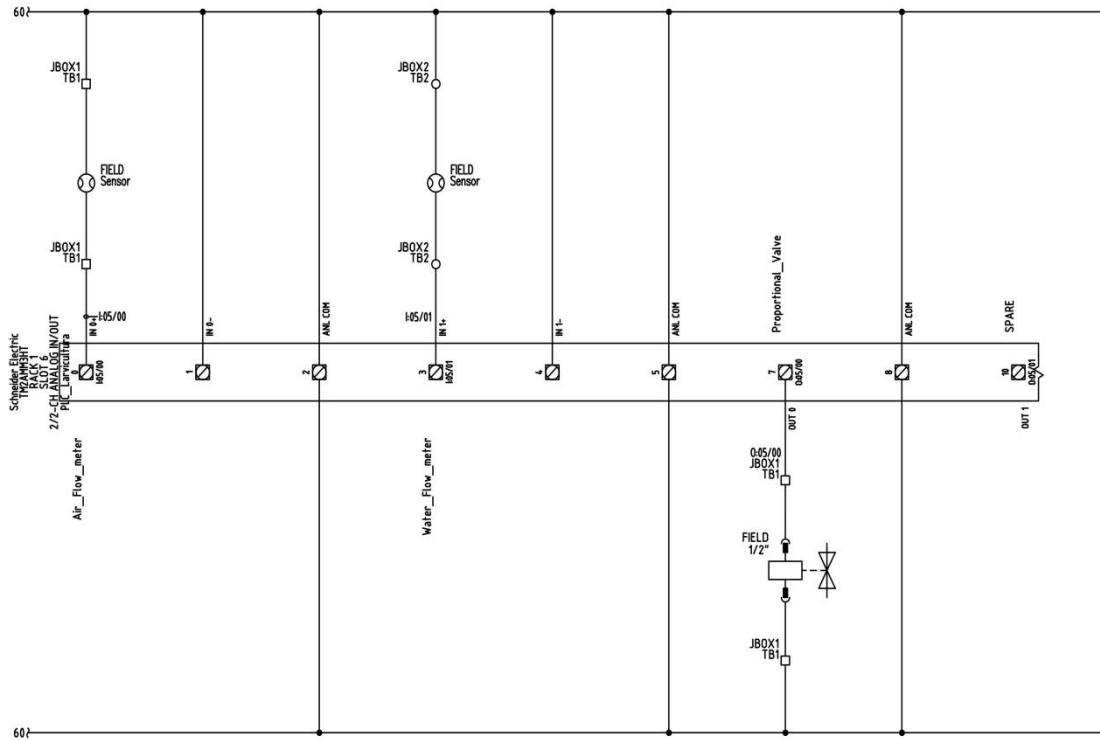


Fig 3.6.6 Plano eléctrico de conexión de los sensores de flujo y válvula proporcional

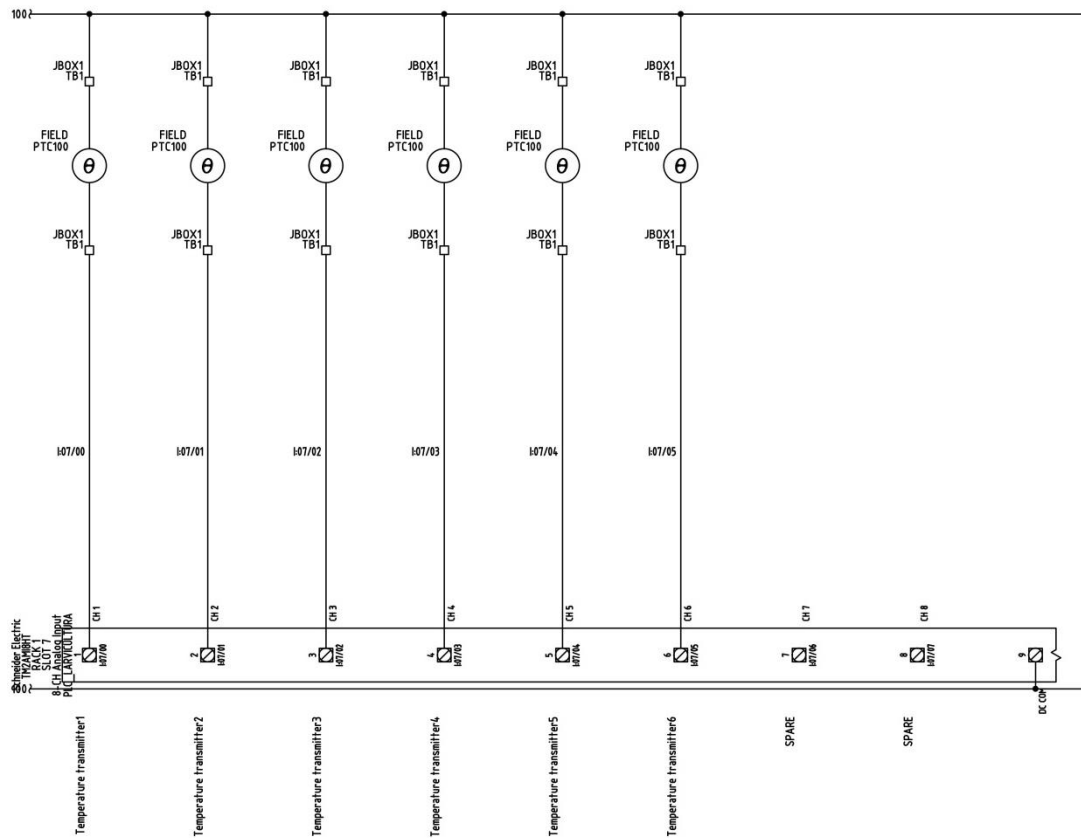


Fig 3.6.7 Plano eléctrico de conexión de los transmisores de temperatura



### 3.6.2. Diagramas esquemáticos

#### 3.6.2.1. Iluminación para microalgas

Este circuito logra conectar los LED's RGB en paralelo para formar una matriz de 3x4. Estos LED's son del tipo smd y tienen internamente resistencias. Dado que son 12 emisores de luz en total, se utiliza el chip ULN2803A que comprende 8 transistores Darlington para amplificar la corriente (500mA). Además, el fin de este hardware es hacer variaciones de color a través de las señales de PWM del Arduino, el cual dispone de 6 puertos en su modelo Pro-mini. Por lo tanto, es factible trabajar 2 matrices de LED's por cada microcontrolador. En cuanto al envío de información al SCADA, esto se da a través de RS232 y para ello se utilizan adaptadores TTL-RS232 como se mencionó en el apartado 3.3.2 [13] [14]. Los cálculos de las resistencias se indican en el Anexo 4.

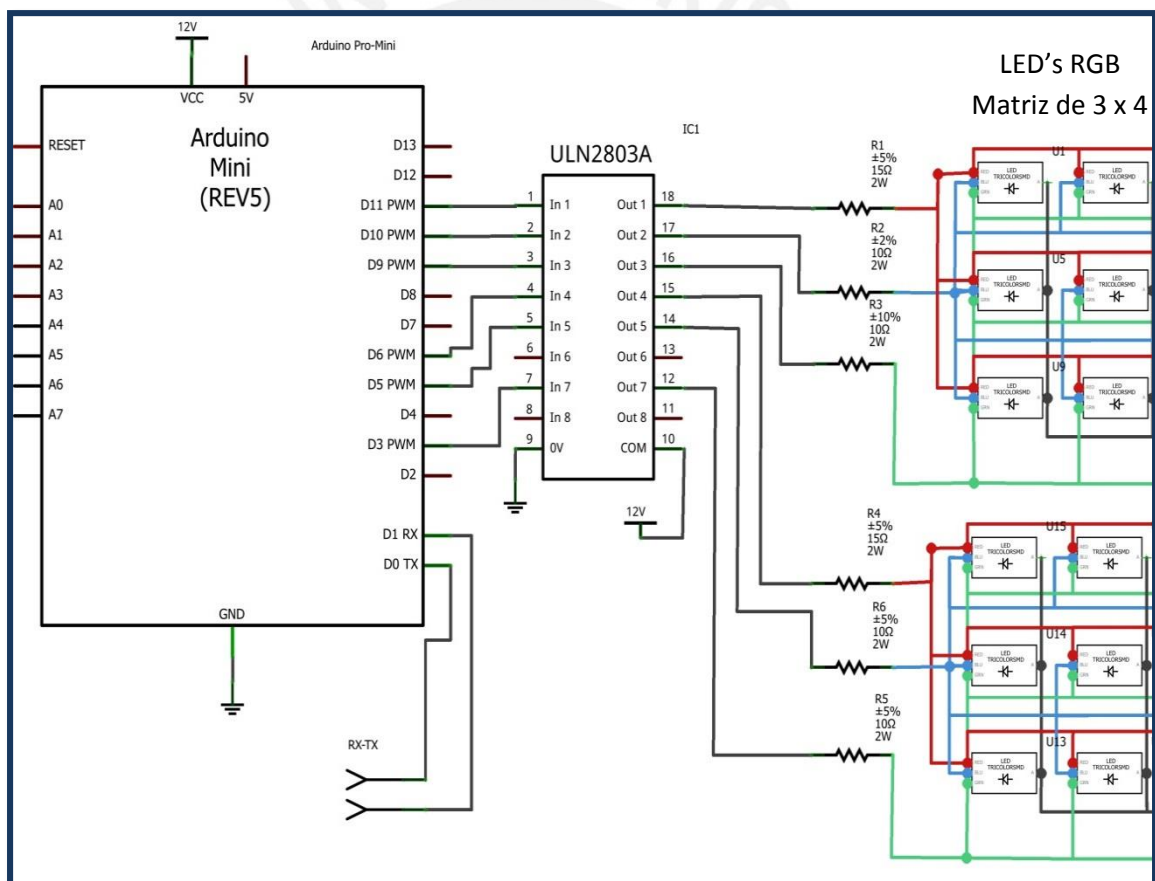


Fig 3.6.1 Diagrama esquemático del variador de colores

Otro punto a recalcar es que el Arduino posee internamente un regulador de voltaje. Por consiguiente, se utilizan fuentes de 12V directamente.

En la figura 3.6.2 se visualiza el circuito físico de la tarjeta pero con una sola matriz conectada.

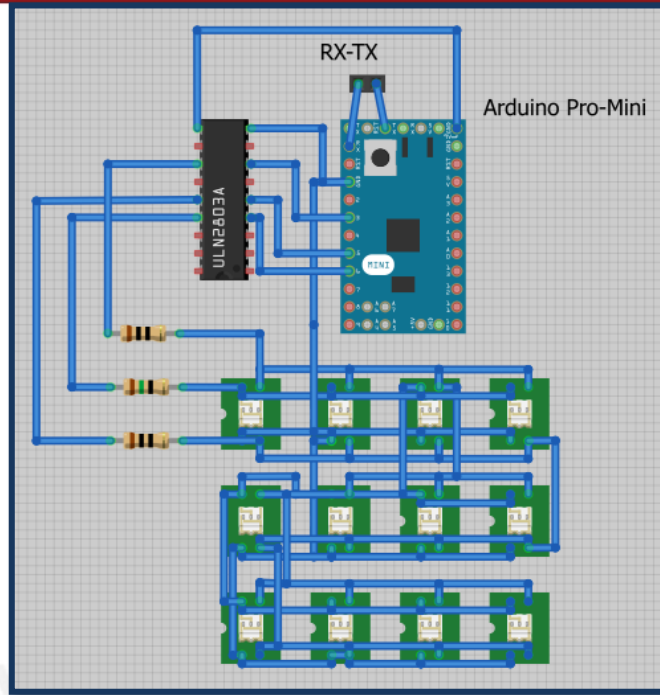


Fig 3.6.2 Circuito físico diseñado en fritzing

### 3.6.2.2. Iluminación con sistema fotoperiodo

En la figura 3.6.3 se muestra como se conectan las tiras de led's RGB que constan de 2 filas de 60 focos cada una y con un consumo de 2A por metro. Además, se alimentan a 24V. Por eso, las 2 fuentes requeridas son de 12V y 30W de potencia que cumplen con grado de protección IP67.

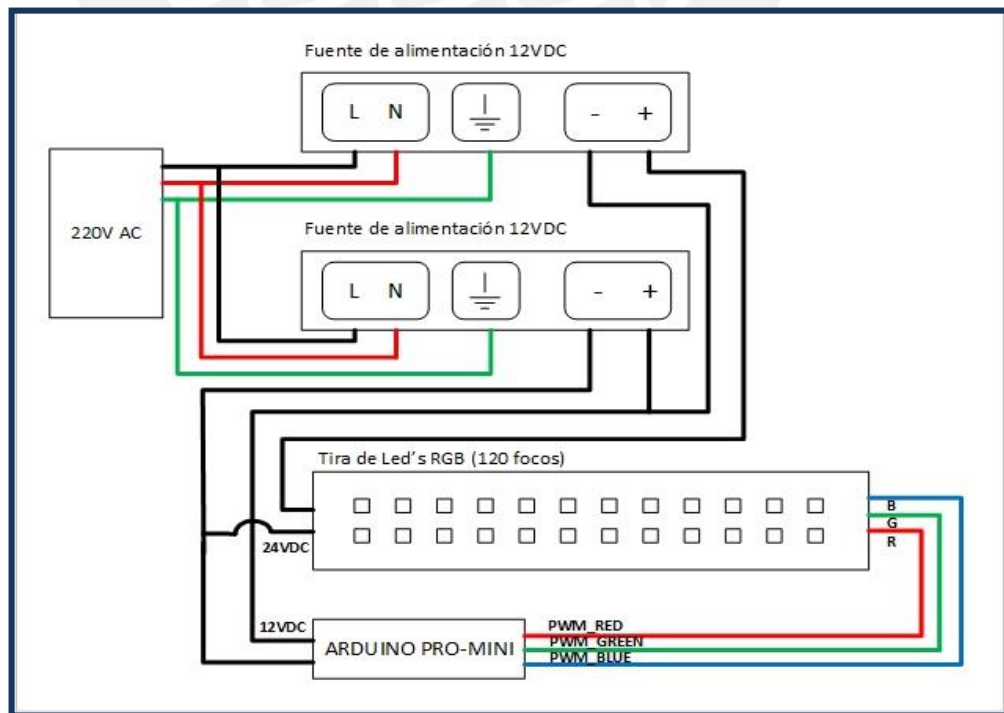


Fig 3.6.3 Diagrama de instalación del sistema fotoperiodo

### 3.6.3. Diagrama de comunicaciones

En el siguiente diagrama (fig. 3.6.7) se visualizan los protocolos de comunicación usados para el laboratorio. A nivel de control, se tiene la red Ethernet, en el cual se supervisa, adquiere y controlan los procesos. Luego, en el nivel de campo se emplea ModBus para la comunicación entre PLC's, RS485 para el monitor de analizador de agua y RS232 para el controlador de temperatura. En el caso de los microcontroladores Arduino se utiliza I2C para los esclavos y RS232 para el micro maestro, cuya función es recibir y enviar datos entre PLC y Arduino. Por último, en el nivel inferior están todos los sensores y actuadores determinados anteriormente [15].

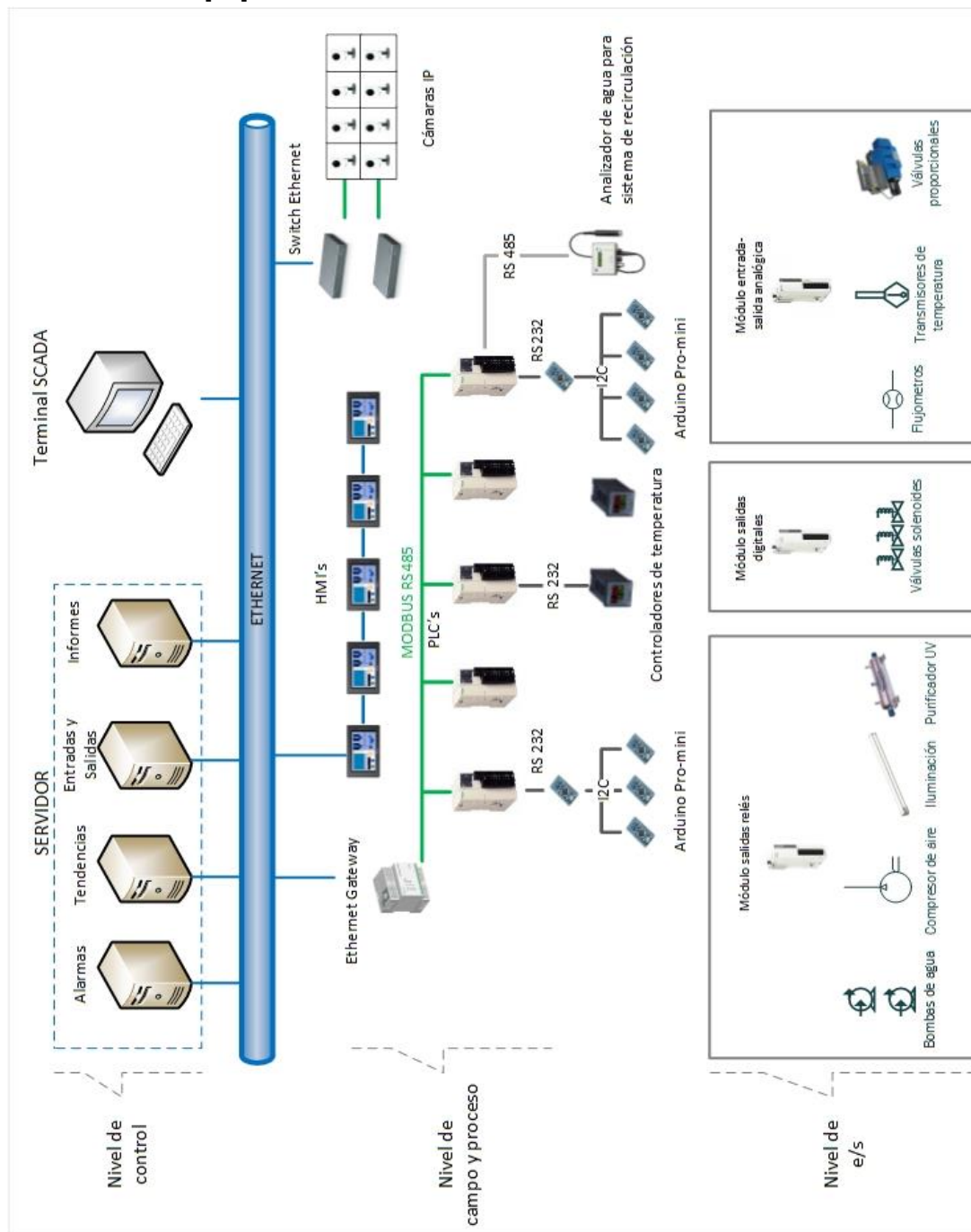


Fig 3.6.7 Arquitectura de comunicaciones del laboratorio

### 3.7. Diagrama de flujo del programa de control

A continuación, se presentan los diagramas de flujos de cada sala (fig. 3.7.1 a la fig. 3.7.4), los cuales pueden dar mayor detalle de lo visto en el diagrama de funcionamiento (fig. 3.1). La programación se realiza en el SCADA y este envía las señales de control al PLC para ejecutar las tareas determinadas.

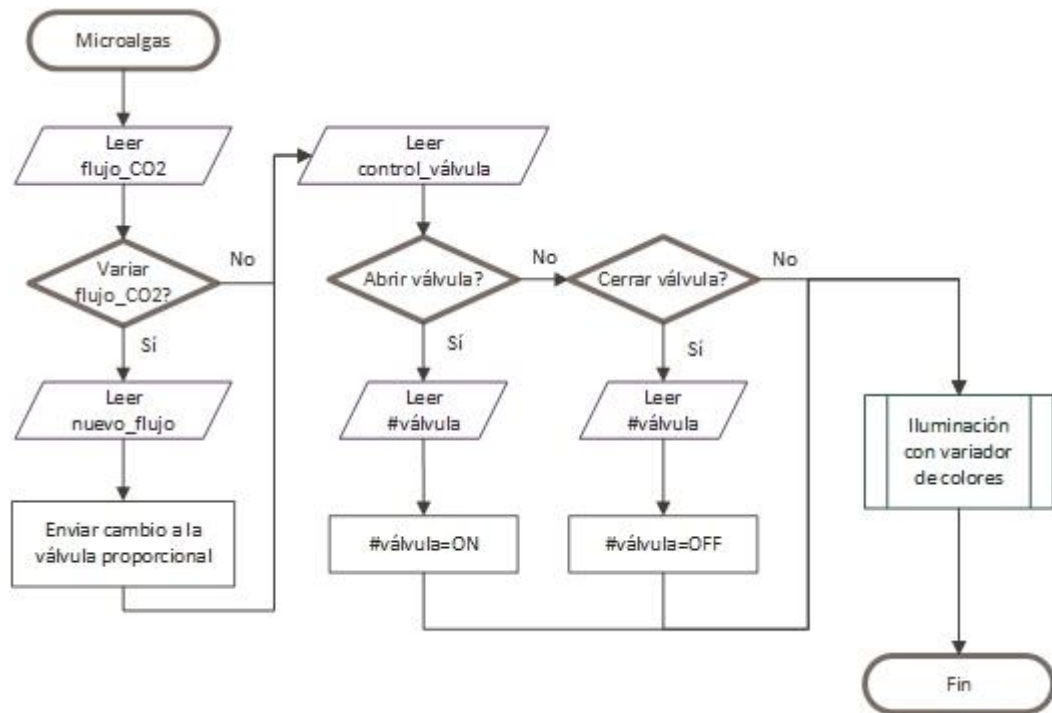


Fig 3.7.1 Diagrama de flujo de la sala de microalgas

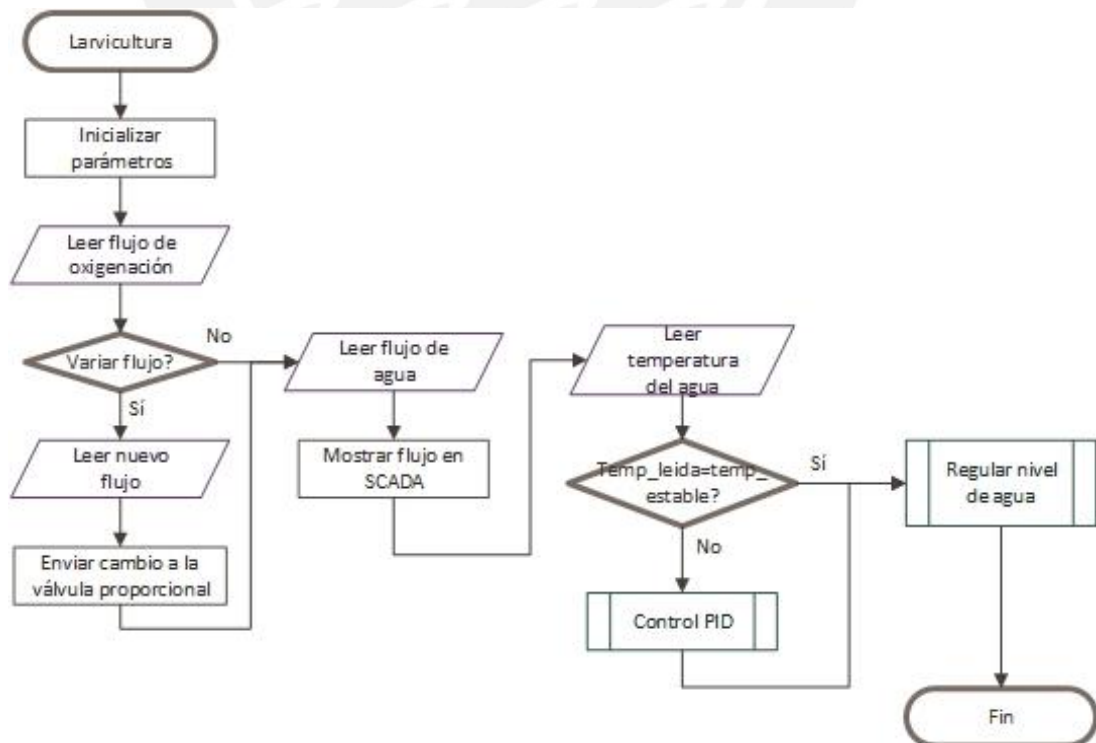


Fig 3.7.2 Diagrama de flujo de la sala de larvicultura

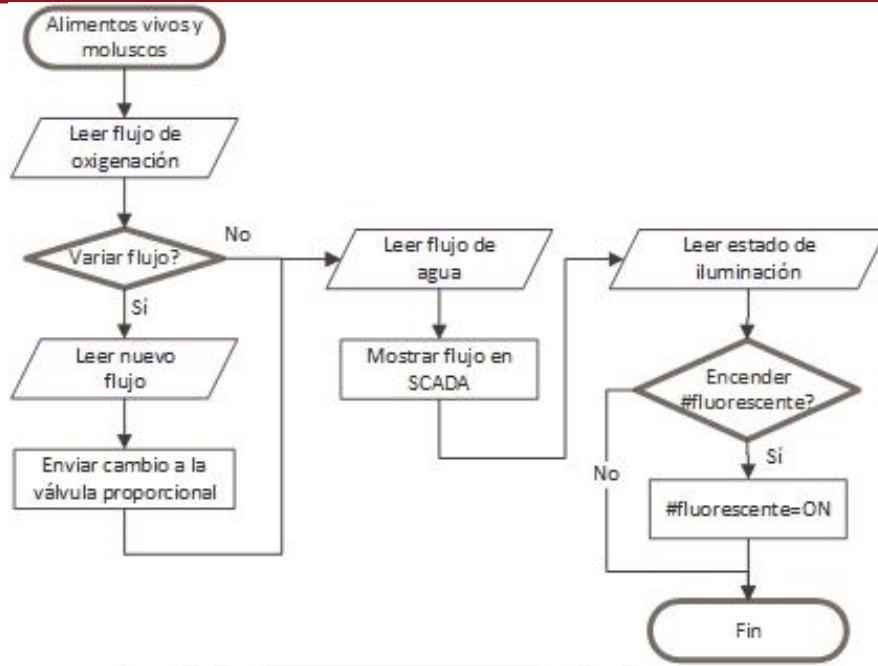


Fig 3.7.3 Diagrama de flujo de la salas de alimentos vivos y moluscos

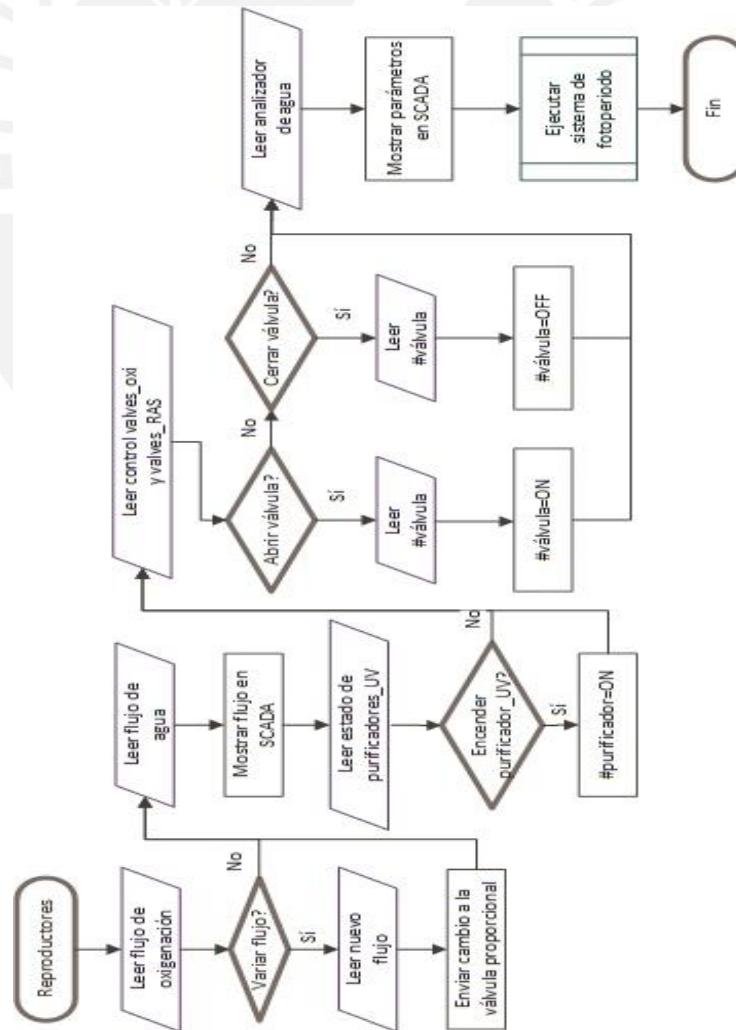


Fig 3.7.4 Diagrama de flujo de la sala de reproductores

En la figura 3.7.5 se puede ver cómo funciona el sistema de fotoperiodo. Primero, se programan las secuencias ingresando el color y la hora de inicio. Luego, esta información se envía al PLC, el cual retransmite las secuencias y la hora del sistema para sincronizar el Arduino. Por último, el microcontrolador se encarga de aumentar o disminuir la luminosidad dependiendo del turno (día o noche) para cambiar las PWM's que definen el color.

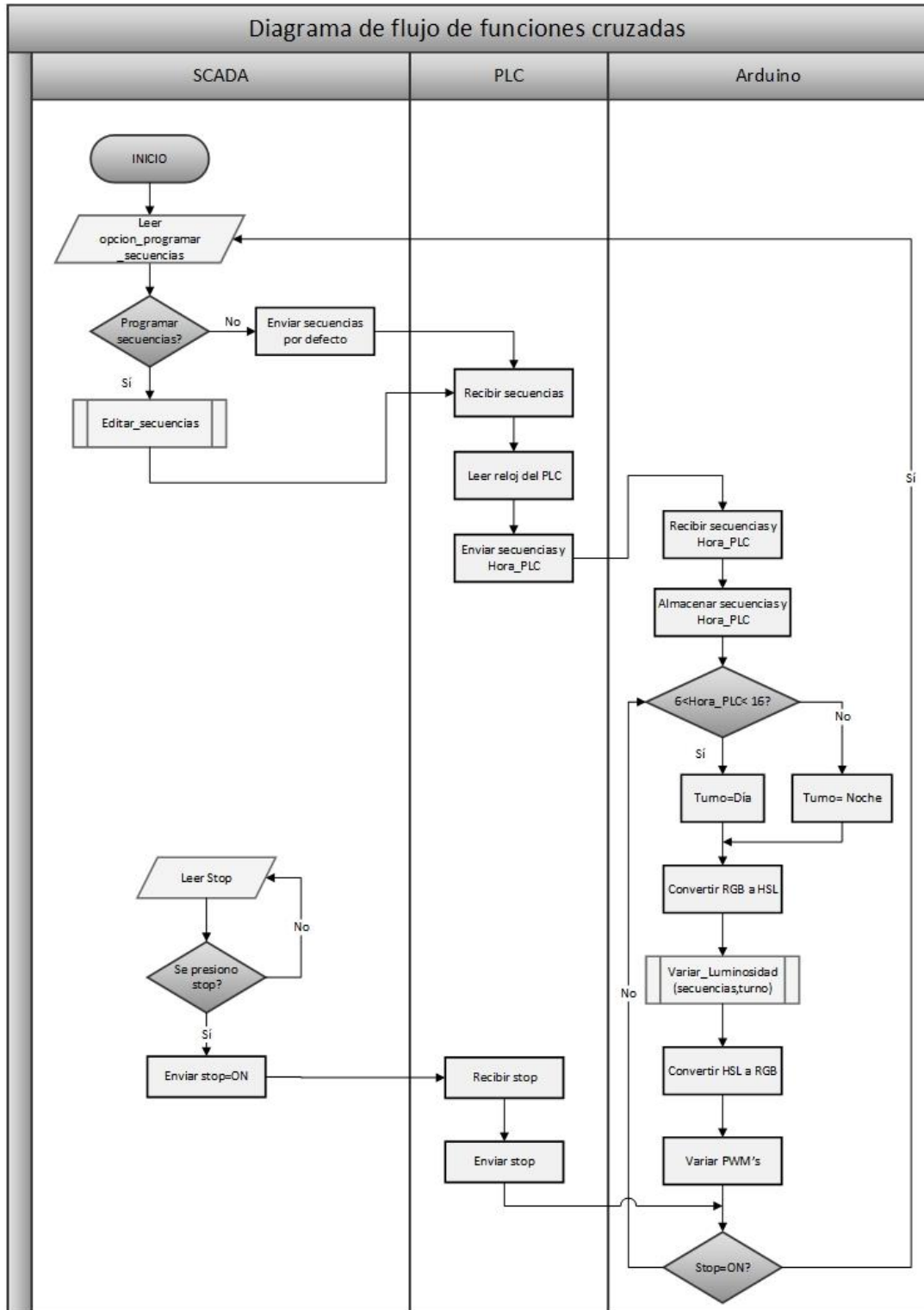


Fig 3.7.5 Diagrama de flujo del sistema de fotoperiodo

En esta página se ven las subrutinas correspondientes con el diagrama de flujo anterior. La figura 3.7.6 a muestra a la subrutina editar\_secuencias. En ella se ingresan los colores y la hora que uno quiere cambiar a lo largo del día. Estas dos variables se almacenan en un arreglo denominado secuencias. La otra subrutina que se aprecia en la figura 3.7.6 b es la de variar\_luminosidad, como su nombre lo indica luego de convertir el modelo de color RGB a HSL (ver figura 3.7.5) se obtiene el parámetro luminosidad lista para variar sin alterar el tono. Básicamente, se calcula el periodo de tiempo para aumentar o disminuir en 0.01 la variable. El rango manejable es de 0 a 0.6, si se pasa dicho valor el tono se convierte a blanco y no mantiene su color. Los otros parámetros que se obtienen del HSL se mantienen constantes, los cuales son el matiz (color) y la saturación.

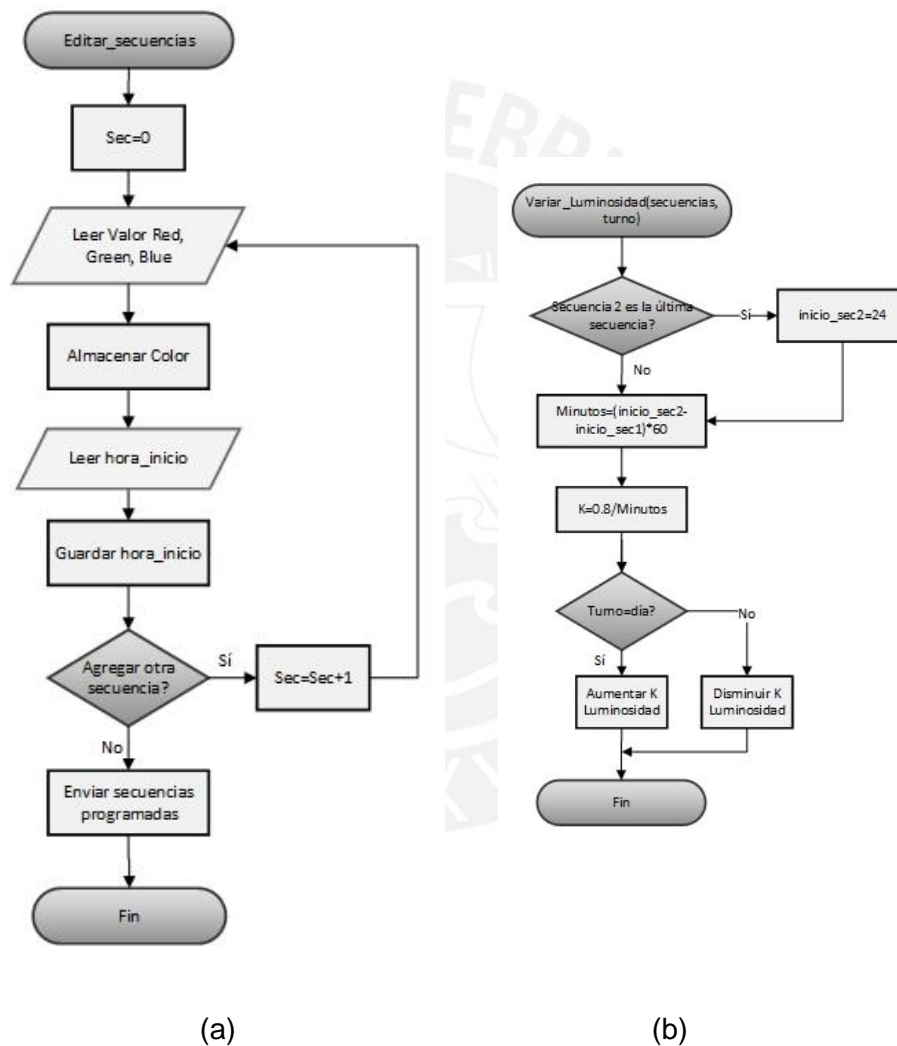


Fig 3.7.6 Diagrama de flujo de las subrutinas del fotoperiodo  
 (a) Subrutina editar\_secuencias  
 (b) Subrutina variar\_luminosidad

En la fig. 3.7.7 se visualiza la subrutina iluminación con variador de colores para la sala de microalgas. Su funcionamiento consiste en pedir al usuario el tono que se quiere mostrar y en qué matriz, a través del HMI de la sala. De esa manera, el Arduino recibe los datos y manda las señales de PWM correspondientes.

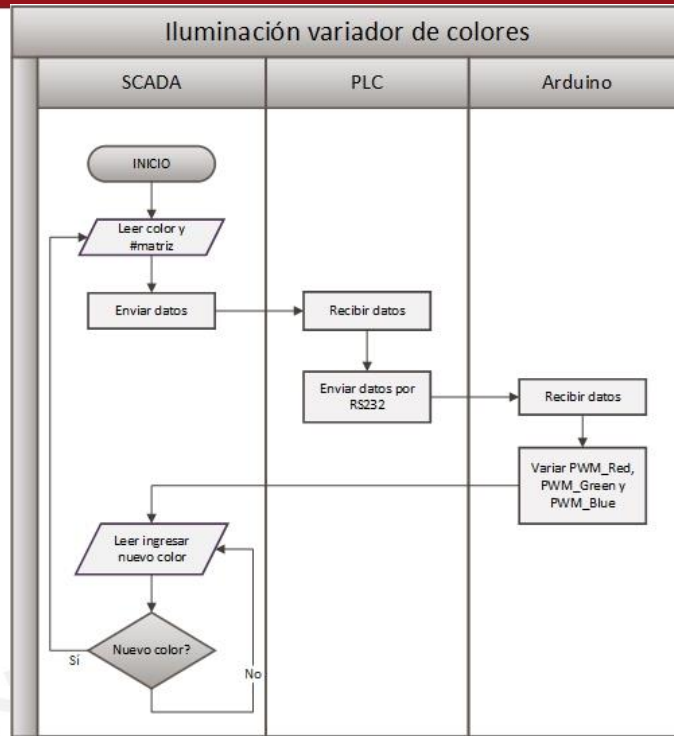


Fig. 3.7.7 Diagrama de flujo del variador de colores para iluminación de la sala de microalgas

La subrutina de la fig. 3.7.8 corresponde a la sala de larvicultura y se basa en la lectura del sensor de nivel localizado en el estanque amarillo (ver fig. 2.4). El sensor funciona como un switch normalmente cerrado. Si detecta un nivel de agua, este se abre y manda una señal al PLC para que abra la válvula de purga. Asimismo, en el SCADA se genera una alarma avisando al usuario que el nivel del agua está en el límite.

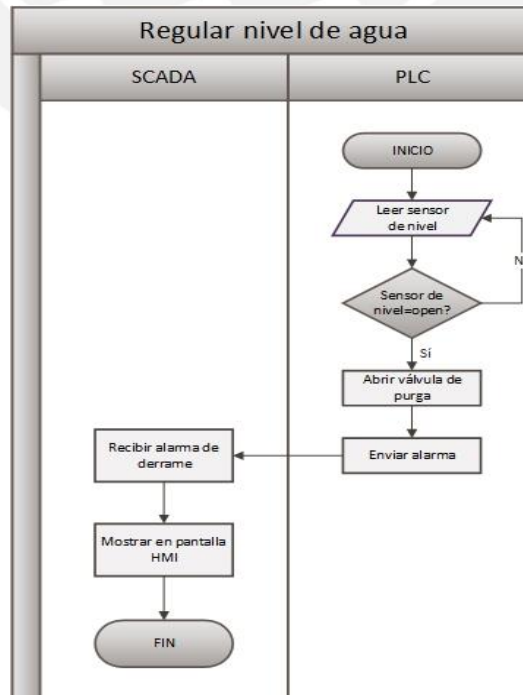


Fig. 3.7.8 Subrutina regular nivel de agua de la sala de larvicultura



### 3.8. Interfaces gráficas del SCADA

En las siguientes páginas, se muestran las pantallas de los HMI's de las salas desarrolladas en el software Vijeo Citect. A su vez, las ventanas de los menús como la iluminación de la sala de microalgas que son del tipo on - off y el visualizador de los parámetros del equipo analizador de sistemas de recirculación de agua. Estas interfaces fueron diseñadas según el estándar ISO 9241 "Ergonomics of Human System Interaction" [9] y la norma DIN 2403 "Piping identification with coded colours" [10].

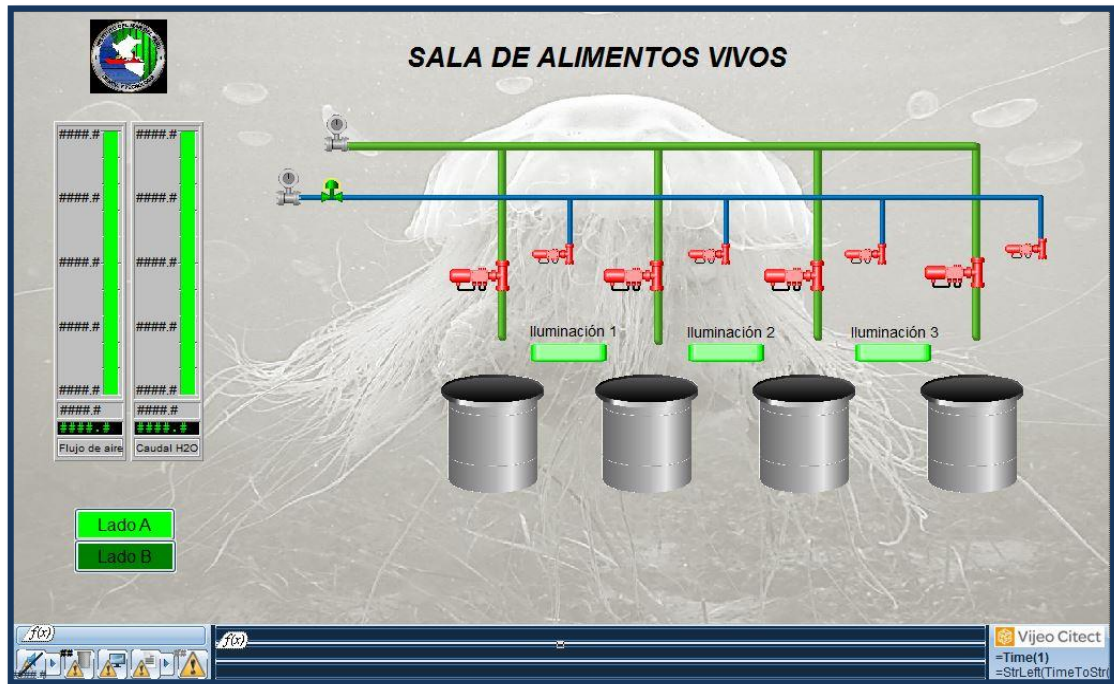


Fig 3.8.1 Interfaz HMI de la sala de alimentos vivo

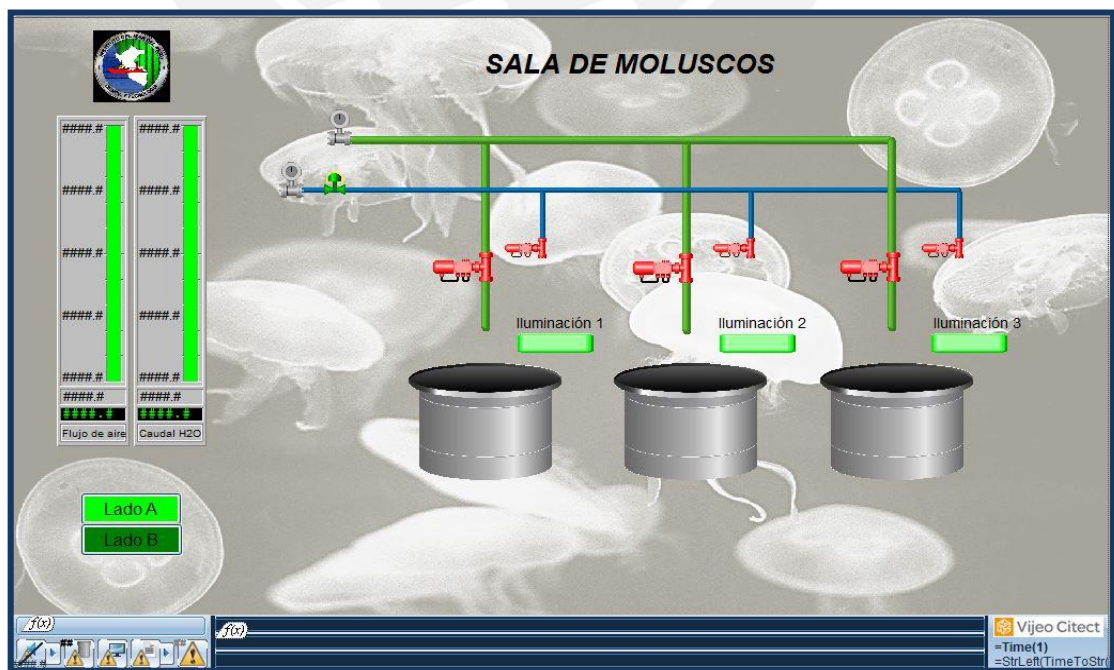


Fig 3.8.2 Interfaz HMI de la sala de moluscos

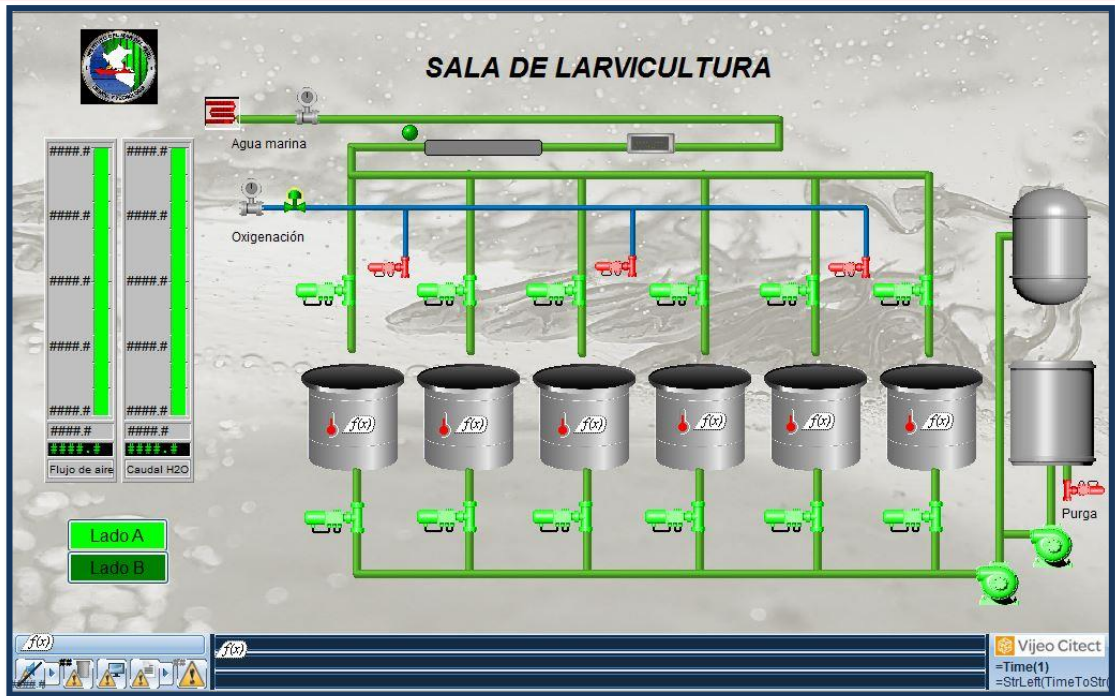


Fig 3.8.3 Interfaz HMI de la sala de larvicultura

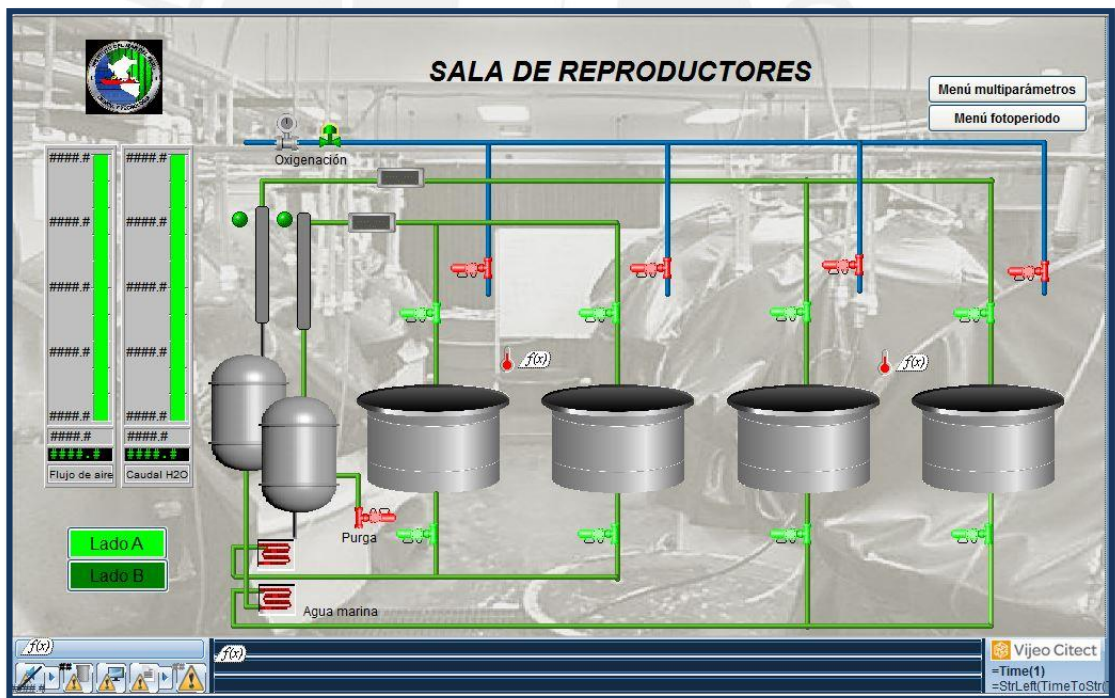


Fig 3.8.4 Interfaz HMI de la sala de reproductores

Las figuras 3.8.3 y 3.8.4 se caracterizan porque se basan en un RAS (Recirculating Aquaculture System). Por ese motivo, es importante llevar un monitoreo de las variables en juego para que el sistema se encuentre estable. Además, como se mencionó en secciones anteriores las salas son simétricas, es decir, se repite todo el ciclo en el lado opuesto. Simplemente con seleccionar el lado en el menú sala

ubicado en la pantalla, el usuario puede pasar de los equipos izquierdos a los derechos o viceversa.

La interfaz de la sala de microalgas es la única que presenta los íconos del compresor de aire y la bomba de agua general. Esto se debe es que desde aquí se puede realizar el control on/off de los equipos que suministran directamente la oxigenación y el agua marina de todo el laboratorio de acuicultura.

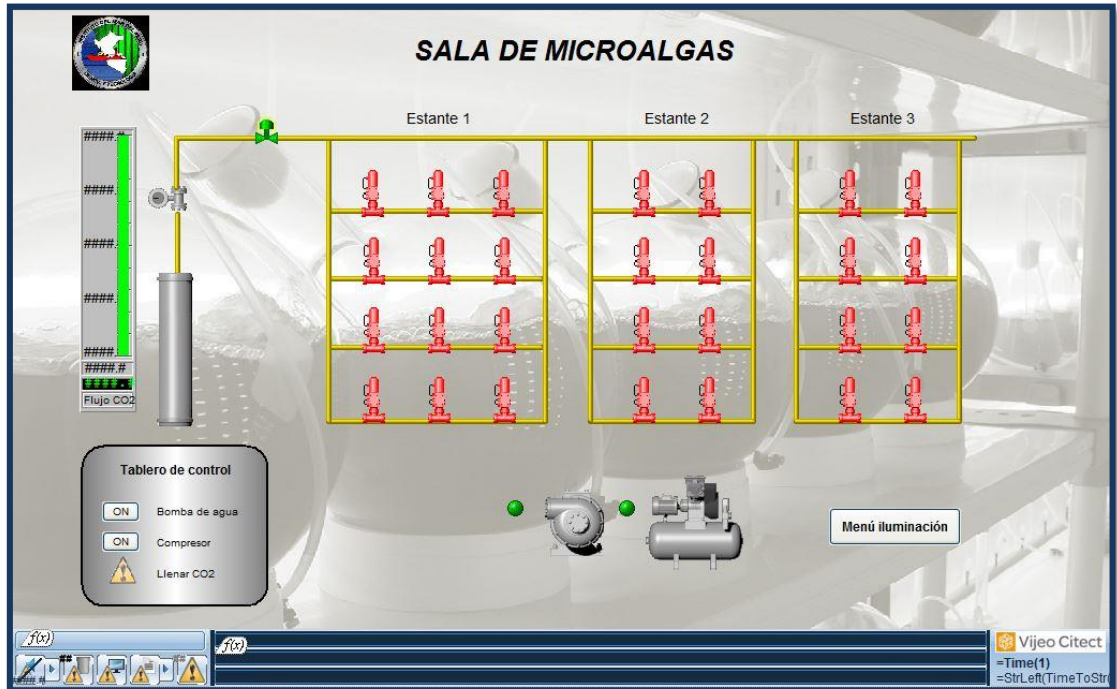


Fig 3.8.5 Interfaz HMI de la sala de microalgas

Al presionar el botón menú iluminación, el HMI nos muestra la ventana de la figura 3.8.6. En este gráfico, el usuario puede variar los colores mediante la combinación de los tonos primarios (rojo, verde y azul) y a su vez seleccionar en qué matriz se desea ejecutar dicha modificación.

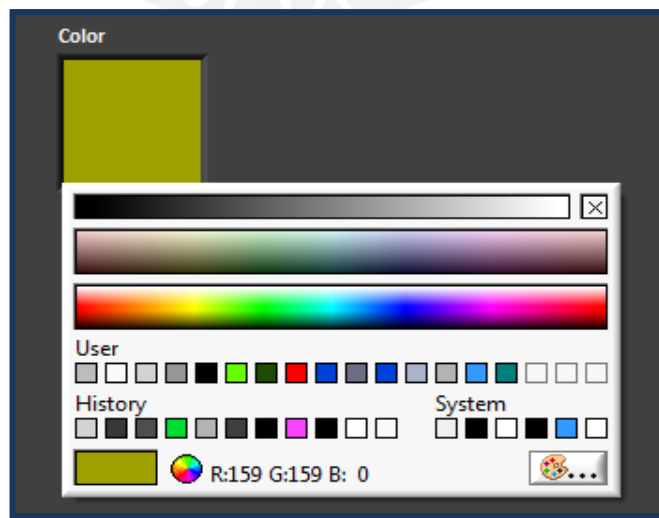


Fig 3.8.6 Menú iluminación de la sala de microalgas

La figura 3.8.7 corresponde a la interfaz de la sala de reproductores luego de seleccionar el menú de multiparámetros. Esta ventana nos muestra las variables que adquiere el analizador de agua YSI 5200.



Fig 3.8.7 Menú multiparámetros de la sala de reproductores

Finalmente, se tiene la interfaz del sistema de fotoperiodo (fig 3.8.8). En ella se aprecia, una parte para inicializar las secuencias y en otra se ve la ejecución del mismo. Fácilmente, se ingresan la hora de inicio y los colores, los cuales se seleccionan del mismo modo que en la fig. 3.8.6. Todos estos valores se almacenan y nos muestra el número de secuencias programadas. También se logra ver el tiempo de ejecución que se adquiere del PLC y el color en cada instante cuando transcurre el periodo determinado internamente. Para mayor información sobre el código de programa hecho, ver el Anexo 8.

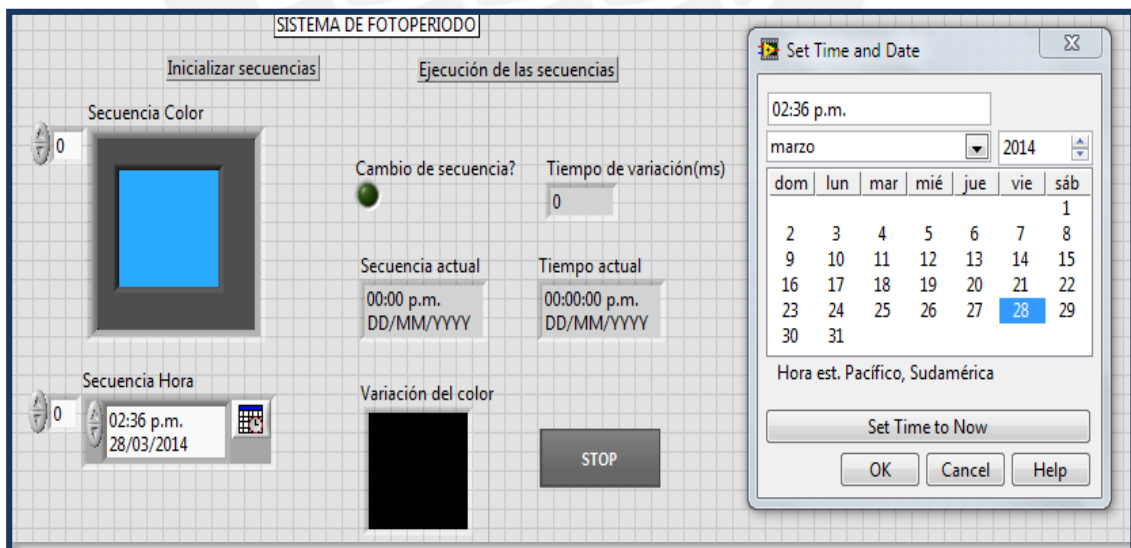


Fig 3.8.8 Interfaz del sistema de fotoperiodo

# Capítulo 4

## Presupuesto

En la tabla 4.1 se detalla los impuestos generados por la importación de mercancías. Mientras que, en la tabla 4.2 se dan los costos de los componentes a utilizar. Aquellos que son importados ya no se considera el IGV del 18% puesto que está dentro de los gravámenes. Para mayor información y proformas ver Anexo 10.

(\*) = Se puede ubicar el presupuesto y los elementos que componen el sistema en el Anexo 9

Tabla 4.1 Gravámenes generados por la importación de componentes [17]

| Tributos SUNAT (Importación)    |       |
|---------------------------------|-------|
| Gravámenes                      | Valor |
| Impuesto de promoción municipal | 2%    |
| Seguro                          | 1.75% |
| Ad Valorem                      | 6%    |
| Impuesto general a las ventas   | 16%   |

Tabla 4.2 Presupuesto de los componentes requeridos por salas

| Sala         | Componente                                   | Marca / Proveedor  | Modelo               | Canti-<br>dad | Precio<br>(\$) | IGV<br>(\$) | Impor-<br>tación<br>(\$) | SubTotal<br>(\$) |
|--------------|--|--------------------|----------------------|---------------|----------------|-------------|--------------------------|------------------|
| Microalgas   | PLC Twido 24V                                | Schneider Electric | TWDLMDA 20DRT        | 1             | 549.55         | 98.92       | 0.00                     | 648.47           |
| Microalgas   | HMI  | Kinco              | MT4424 TE            | 1             | 443.00         | 0.00        | 114.07                   | 557.07           |
| Microalgas   | Módulo PLC RS232                             | Schneider Electric | TWDNOZ 232D          | 1             | 67.43          | 12.14       | 0.00                     | 79.57            |
| Microalgas   | Módulo salidas digitales                     | Schneider Electric | TM2DDO 8TT           | 4             | 151.52         | 27.27       | 0.00                     | 715.17           |
| Microalgas   | Módulo de salida/entrada analógica           | Schneider Electric | TM2AMM 3HT           | 1             | 339.80         | 61.16       | 0.00                     | 400.96           |
| Microalgas   | Arduino Pro-Mini 16MHz                       | Sparkfun           | Pro-Mini             | 1             | 9.95           | 0.00        | 2.56                     | 12.51            |
| Microalgas   | Electro-válvula 1/2"                         |                    |                      | 30            | 7.01           | 0.00        | 1.81                     | 264.45           |
| Microalgas   | Válvula proporcional 1/2"                    | Danfoss            | EV260B 15B           | 1             | 413.04         | 0.00        | 106.36                   | 519.40           |
| Microalgas   | Sensor de flujo para gas + cable de conexión | Festo              | SFAB-10U-HQ6-2SA-M12 | 1             | 800.33         | 144.06      | 0.00                     | 944.39           |
| Microalgas   | Iluminación Led's RGB (*)                    |                    |                      | 3             | 89.37          | 16.09       | 0.00                     | 316.37           |
| Microalgas   | Guardamotor termomagnético                   | Schneider Electric |                      | 2             | 27.13          | 4.88        | 0.00                     | 64.03            |
| Microalgas   | Contactores TESYS                            | Schneider Electric |                      | 2             | 60.26          | 10.85       | 0.00                     | 142.21           |
| Larvicultura | PLC Twido 24V                                | Schneider Electric | TWDLMDA 20DRT        | 1             | 549.55         | 98.92       | 0.00                     | 648.47           |
| Larvicultura | Módulo PLC RS232                             | Schneider Electric | TWDNOZ2 32D          | 1             | 67.43          | 12.14       | 0.00                     | 79.57            |

| Sala            | Componente                                    | Marca / Proveedor        | Modelo               | Cantidad | Precio (\$) | IGV (\$) | Importación (\$) | SubTotal (\$) |
|-----------------|---|--------------------------|----------------------|----------|-------------|----------|------------------|---------------|
| Larvicultura    | HMI   | Kinco                    |                      | 1        | 443.00      | 79.74    | 0.00             | 522.74        |
| Larvicultura    | Módulo salidas digitales                      | Schneider Electric       | TM2DDO 8TT           | 1        | 151.52      | 27.27    | 0.00             | 178.79        |
| Larvicultura    | Módulo de salidas digitales                   | Schneider Electric       | TM2DRA 16RT          | 2        | 303.21      | 54.58    | 0.00             | 715.58        |
| Larvicultura    | Módulo de salidas digitales                   | Schneider Electric       | TM2DRA 8RT           | 1        | 150.00      | 27.00    | 0.00             | 177.00        |
| Larvicultura    | Módulo de salida/entrada analógica            | Schneider Electric       | TM2AMM 3HT           | 1        | 339.80      | 61.16    | 0.00             | 400.96        |
| Larvicultura    | Módulo de entradas analógicas                 | Schneider Electric       | TM2AMI 8HT           | 1        | 358.50      | 64.53    | 0.00             | 423.03        |
| Larvicultura    | Sensor de flujo para aire + cable de conexión | Festo                    | SFAB-10U-HQ6-2SA-M12 | 1        | 800.33      | 144.06   | 0.00             | 944.39        |
| Larvicultura    | Caudalímetro digital                          | GPI                      | TM150-N              | 1        | 575.00      | 103.50   | 0.00             | 678.50        |
| Larvicultura    | Sensor de nivel                               | Hamlin                   | 59630                | 1        | 14.31       | 0.00     | 3.68             | 17.99         |
| Larvicultura    | Soporte de sensor de nivel                    |                          |                      | 1        | 10.00       | 1.80     | 0.00             | 11.80         |
| Larvicultura    | Sensor de temperatura, PTC 1000               | Danfoss                  | EKS 111              | 2        | 10.87       | 1.96     | 0.00             | 25.65         |
| Larvicultura    | Termopozo+transmisor de temperatura+sensor    | Danfoss - PR Electronics | MBT5252-5333A        | 6        | 282.61      | 50.87    | 0.00             | 2,000.88      |
| Larvicultura    | Electro-válvula 1 1/2"                        |                          |                      | 26       | 115.00      | 0.00     | 29.61            | 3,759.93      |
| Larvicultura    | Electro-válvula 1/2"                          |                          |                      | 6        | 7.01        | 0.00     | 1.81             | 52.89         |
| Larvicultura    | Válvula proporcional                          | Danfoss                  | EV260B 15B           | 1        | 413.04      | 74.35    | 0.00             | 487.39        |
| Larvicultura    | Controlador de Temperatura Digital            | Brainchild               | BTC 9100             | 2        | 101.45      | 18.26    | 0.00             | 239.42        |
| Alimentos vivos | PLC Twido 24V                                 | Schneider Electric       | TWDLMDA 20DRT        | 1        | 549.55      | 98.92    | 0.00             | 648.47        |
| Alimentos vivos | HMI   | Kinco                    |                      | 1        | 443.00      | 0.00     | 114.07           | 557.07        |
| Alimentos vivos | Módulo de salidas digitales                   | Schneider Electric       | TM2DDO 8TT           | 2        | 151.52      | 27.27    | 0.00             | 357.59        |
| Alimentos vivos | Módulo de salidas digitales                   | Schneider Electric       | TM2DRA 8RT           | 1        | 150.00      | 27.00    | 0.00             | 177.00        |
| Alimentos vivos | Módulo de salida/entrada analógica            | Schneider Electric       | TM2AMM 3HT           | 1        | 339.80      | 61.16    | 0.00             | 400.96        |
| Alimentos vivos | Sensor de flujo para aire + cable de conexión | Festo                    | SFAB-10U-HQ6-2SA-M12 | 1        | 800.33      | 144.06   | 0.00             | 944.39        |
| Alimentos vivos | Caudalímetro digital                          | GPI                      | TM150-N              | 1        | 575.00      | 103.50   | 0.00             | 678.50        |
| Alimentos vivos | Electro-válvula 1/2"                          |                          |                      | 8        | 7.01        | 0.00     | 1.81             | 70.52         |
| Alimentos vivos | Electro-válvula 1 1/2"                        |                          |                      | 8        | 115.00      | 0.00     | 29.61            | 1,156.90      |
| Alimentos vivos | Válvula proporcional                          | Danfoss                  | EV260B 15B           | 1        | 413.04      | 74.35    | 0.00             | 487.39        |
| Moluscos        | PLC Twido 24V                                 | Schneider Electric       | TWDLMDA 20DRT        | 1        | 549.55      | 98.92    | 0.00             | 648.47        |
| Moluscos        | HMI   | Kinco                    |                      | 1        | 443.00      | 0.00     | 114.07           | 557.07        |

| Sala          | Componente                                    | Marca / Proveedor  | Modelo               | Cantidad | Precio (\$) | IGV (\$) | Importación (\$) | SubTotal (\$) |
|---------------|---|--------------------|----------------------|----------|-------------|----------|------------------|---------------|
| Moluscos      | Módulo de salidas digitales                   | Schneider Electric | TM2DDO 8TT           | 2        | 151.52      | 27.27    | 0.00             | 357.59        |
| Moluscos      | Módulo de salidas digitales                   | Schneider Electric | TM2DRA 8RT           | 1        | 150.00      | 27.00    | 0.00             | 177.00        |
| Moluscos      | Módulo de salida/entrada analógica            | Schneider Electric | TM2AMM 3HT           | 1        | 339.80      | 61.16    | 0.00             | 400.96        |
| Moluscos      | Sensor de flujo para aire + cable de conexión | Festo              | SFAB-10U-HQ6-2SA-M12 | 1        | 800.33      | 144.06   | 0.00             | 944.39        |
| Moluscos      | Caudalímetro digital                          | GPI                | TM150-N              | 1        | 575.00      | 103.50   | 0.00             | 678.50        |
| Moluscos      | Electro-válvula 1/2"                          |                    |                      | 6        | 7.01        | 0.00     | 1.81             | 52.89         |
| Moluscos      | Electro-válvula 1 1/2"                        |                    |                      | 6        | 115.00      | 0.00     | 29.61            | 867.68        |
| Moluscos      | Válvula proporcional                          | Danfoss            | EV260B 15B           | 1        | 413.04      | 74.35    | 0.00             | 487.39        |
| Reproductores | PLC Twido 24V                                 | Schneider Electric | TWDLMDA 20DRT        | 1        | 549.55      | 98.92    | 0.00             | 648.47        |
| Reproductores | Módulo PLC RS485                              | Schneider Electric | TWDNOZ 485D          | 1        | 67.75       | 12.20    | 0.00             | 79.95         |
| Reproductores | Módulo PLC RS232                              | Schneider Electric | TWDNOZ 232D          | 1        | 67.43       | 12.14    | 0.00             | 79.57         |
| Reproductores | Interfaz Ethernet                             | Schneider Electric | TCSEQM1 13M13M       | 1        | 327.17      | 58.89    | 0.00             | 386.06        |
| Reproductores | Switch Ethernet                               | Airlive            | AL-POE-FSH804        | 2        | 104.87      | 18.88    | 0.00             | 247.49        |
| Reproductores | Arduino Pro-Mini 16MHz                        | Sparkfun           | Pro-Mini             | 1        | 9.95        | 0.00     | 2.56             | 12.51         |
| Reproductores | Módulo salidas digitales                      | Schneider Electric | TM2DRA 16RT          | 1        | 303.21      | 54.58    | 0.00             | 357.79        |
| Reproductores | Módulo de salidas digitales                   | Schneider Electric | TM2DRA 8RT           | 1        | 150.00      | 27.00    | 0.00             | 177.00        |
| Reproductores | Módulo de salidas digitales                   | Schneider Electric | TM2DDO 8TT           | 2        | 151.52      | 27.27    | 0.00             | 357.59        |
| Reproductores | Módulo de salida/entrada analógica            | Schneider Electric | TM2AMM 3HT           | 1        | 339.80      | 61.16    | 0.00             | 400.96        |
| Reproductores | HMI   | Kinco              |                      | 1        | 443.00      | 0.00     | 114.07           | 557.07        |
| Reproductores | Iluminación Fotoperiodo (*)                   |                    |                      | 4        | 215.85      | 38.85    | 0.00             | 1,018.81      |
| Reproductores | Cámara IP                                     |                    | HK-DS2CD 8153F-E     | 8        | 164.94      | 29.69    | 0.00             | 1,557.03      |
| Reproductores | Fuente regulable 220-12V                      |                    | FT-CAM               | 8        | 4.03        | 0.73     | 0.00             | 38.04         |
| Reproductores | Válvula proporcional 1/2"                     | Danfoss            | EV260B 15B           | 1        | 413.04      | 74.35    | 0.00             | 487.39        |
| Reproductores | Sensor de flujo para aire + cable de conexión | Festo              | SFAB-10U-HQ6-2SA-M12 | 1        | 800.33      | 144.06   | 0.00             | 944.39        |
| Reproductores | Caudalímetro digital                          | GPI                | TM150-N              | 1        | 575.00      | 103.50   | 0.00             | 678.50        |
| Reproductores | Controlador de Temperatura Digital            | Brainchild         | BTC 9100             | 2        | 101.45      | 18.26    | 0.00             | 239.42        |
| Reproductores | Sensor de temperatura, PTC 1000               | Danfoss            | EKS 111              | 2        | 10.87       | 1.96     | 0.00             | 25.65         |
| Reproductores | Electro-válvula 1 1/2"                        |                    |                      | 16       | 115.00      | 0.00     | 29.61            | 2,313.80      |
| Reproductores | Electro-válvula 1/2"                          |                    |                      | 8        | 7.01        | 0.00     | 1.81             | 70.52         |

Los costos de instalación es referencial e incluyen la compra de cables apantallados, mangueras corrugadas (protección) y reductores.

Tabla 4.3 Presupuesto total

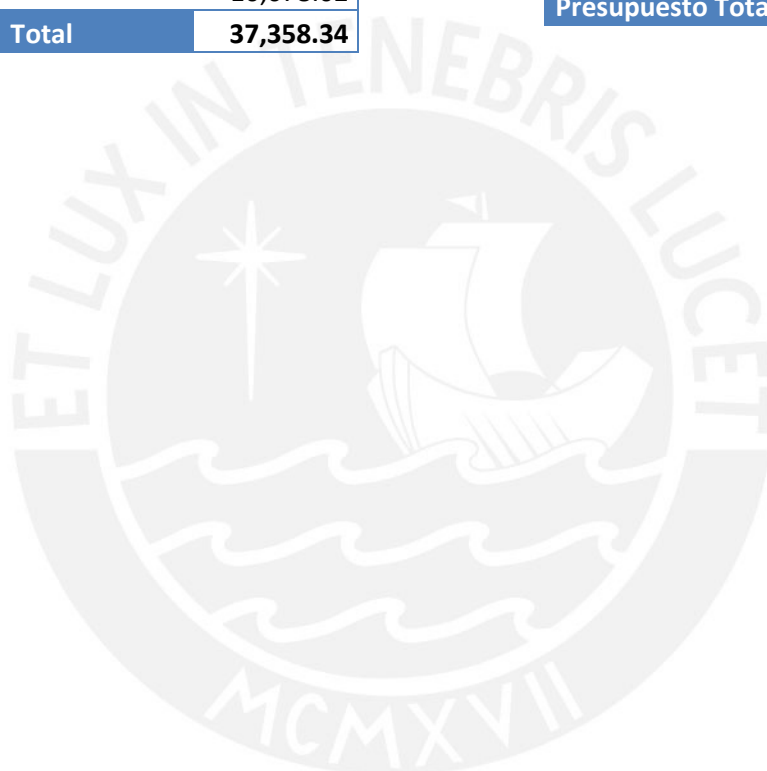
| Sala            | Subtotal         |
|-----------------|------------------|
| Microalgas      | 4,664.61         |
| Larvicultura    | 11,364.98        |
| Alimentos vivos | 5,478.79         |
| Moluscos        | 5,171.93         |
| Reproductores   | 10,678.02        |
| <b>Total</b>    | <b>37,358.34</b> |

|                      |                  |
|----------------------|------------------|
| Costo de instalación | 1,000.00         |
| <b>Total salas</b>   | <b>37,358.34</b> |

|                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| Tipo de cambio \$-S/.          | 2.76              |
| <b>Presupuesto Total (\$)</b>  | <b>38,358.34</b>  |
| <b>Presupuesto Total (S/.)</b> | <b>105,869.01</b> |





## Capítulo 5

### Conclusiones

- Se diseñó un sistema de automatización cumpliéndose los objetivos de controlar, supervisar y adquirir remotamente los parámetros de trabajo del laboratorio de acuicultura. Cada una de las salas se mantienen independientes en un sistema de control distribuido (SCD); sin embargo, se pueden acceder mediante el SCADA.
- Debido al distinto tamaño entre el caudalímetro y el conducto, se utilizaron acoples reductores con lo que las lecturas del sensor estarían referidas al caudal de la tubería. Ello significó multiplicar por un factor de 9 (relación de áreas de 1 ½" a ½") el flujo que se envía al PLC, sino se mostraría un valor erróneo al supervisar este parámetro en el SCADA. Ver Anexo 2.
- Se encontró que el número de puertos de comunicación serial que ofrece el PLC no es suficiente para comunicarse con las cuatro tarjetas Arduino, las cuales controlan el fotoperiodo. Por ello, se optó por utilizar la arquitectura maestro-esclavo. En el nivel esclavo, los microcontroladores se comunican a través de I2C, en tanto que en el nivel maestro se tiene uno solo que mediante RS232 envía y recibe los datos del PLC de la sala correspondiente.

### Recomendación

- Se recomienda para la sala de larvicultura descartar el estanque intermedio denominado pulmón (ver el tanque amarillo de la fig. 2.4), ya que puede producirse derramamientos si se excede el rango de trabajo del caudal de agua. El espacio limitado del lugar impide cambiar a un tanque de mayor capacidad. Por ello, se decidió emplear un sensor de nivel tipo flotador e instalar una válvula solenoide para purgar el agua en caso se produzca problema.

## Bibliografía

- [1] Aquilino Rodríguez, Sistemas SCADA. España: Marcombo, 3ra edición, 2012.
- [2] Stuart A. Boyer, SCADA. USA: Isa. 4ta edición, 2010.
- [3] Raymundo Carranza, Automatización tópicos de instrumentación y control. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 1ra edición, 2001.
- [4] Vijeo Citect, Configuración de Vijeo Citect. Australia: Citect, 1ra edición, 2007.
- [5] Lili Carrera, Noemi Cota. 2013. Manejo de reproductores del lenguado *Paralichthys adspersus* Steindachner, 1867) usando sistemas de recirculación en acuicultura. Latin American Journal of Aquatic Research. pag 89-98.
- [6] IMARPE (2011). Producción de semilla del lenguado *paralichthys adspersus* en cautiverio: Mejoramiento de la calidad y cantidad de desoves fincypibap-051 [diapositivas de PowerPoint]
- [7] L. Beltrán, C. L. G. Castro, Member, IEEE, F. Garcés and M. Moreno, "Monitoring and Control System Used in Microalgae Crop", IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, vol. 10, no. 4, June 2012.
- [8] Ahmad Nizar Harun, Nurul Najwa Ani, Robiah Ahmad and Nurul Syahirah Azmi, "Red and Blue LED with Pulse Lighting Control Treatment for Brassica Chinensis in Indoor Farming", IEEE Conference on Open Systems (ICOS), December 2 - 4, 2013, Sarawak, Malaysia.
- [9] Ergonomics of human-system interaction, ISO9241-151, 2008.
- [10] Piping identification with coded colours, DIN 2403.
- [11] Decreto legislativo N°95 – Ley N°23230, Ley del Instituto del Mar del Perú, Mayo 1981.  
<[http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_ley\\_imarpe.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_ley_imarpe.pdf)>
- [12] Reinhart Acuna Torres  
Diseño de foto bioreactores para el cultivo micro algas oleaginosas  
Parte 1. Teoría y Generalidades  
<<http://bioreactorcrc.wordpress.com/2011/05/06/diseo-de-foto-bioreactores-para-el-cultivo-micro-algas-oleaginosas-parte-1-teora-y-generalidades/>>[Consulta 20 de Setiembre 2013]
- [13] Aquaflash  
Sistemas para crear fotoperiodo  
<<http://aquaflash.blogspot.com/2008/12/18-sistemas-para-crear-el-fotoperiodo.html>>[Consulta 25 de Setiembre 2013]

- [14] Aquaflash  
LEDs en el acuario  
<<http://aquaflash.blogspot.com/2009/05/blog-post.html>>  
[Consulta 25 de Setiembre 2013]
- [15] Schneider Electric  
Redes Industriales  
<<http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/automatizacion-control/guia-soluciones-aut/guia-soluciones-aut-capitulo9.pdf>>[Consulta 27 de Setiembre 2013]
- [16] Universidad de Córdoba  
Introducción a SCADA  
<<http://www.uco.es/grupos/eatco/automatica/ihtm/descargar/scada.pdf>>  
[Consulta 1 de Octubre 2013]
- [17] SUNAT  
Importación de mercancías.  
<[http://www.sunat.gob.pe/orientacionaduanera/importacion/consideraciones\\_generales.html](http://www.sunat.gob.pe/orientacionaduanera/importacion/consideraciones_generales.html)> [Consulta 26 de Noviembre 2013]

